



**O'ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI
HUZURIDAGI PEDAGOG KADRLARNI
QAYTA TAYYORLASH VA ULARNING
MALAKASINI OSHIRISH TARMOQ
(MINTAQAVIY) MARKAZI**

FIZIKAVIY KIMYO: ZAMONAVIY NAZARIYA VA AMALIYOT

**MODULI BO'YICHA
O'QUV–USLUBI
YMAJMU'A**

2026

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY TA’LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI**

**OLIY TA’LIM TIZIMI KADRLARINI QAYTA TAYYORLASH VA
MALAKASINI OSHIRISH INSTITUTI**

**O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI HUZURIDAGI PEDAGOG
KADRLARINI QAYTA TAYYORLASH VA ULARNING MALAKASINI
OSHIRISH TARMOQ (MINTAQAVIY) MARKAZI**

**“Fizikaviy kimyo: zamonaviy nazariya
va amaliyot”
moduli bo‘yicha**

**O‘ Q U V – U S L U B I Y
M A J M U A**

Toshkent – 2026

Modulning ishchi dasturi Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligining 2024-yil 27-dekabrdagi 485-sonli buyrug‘i bilan tasdiqlangan oliy ta’lim muassasalari pedagog kadrlarini qayta tayyorlash va malaka oshirish yo‘nalishlari o‘quv reja va dasturlariga muvofiq ishlab chiqilgan.

Tuzuvchi: O‘zMU, “Tabiiy birikmalar va amaliy kimyo” kafedrası mudiri, k.f.d., prof. A.X. Xaitbayev

Taqrizchilar: k.f.d., prof. T.A.Azizov – O‘zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasi, Umumiy va noorganik kimyo instituti, fizik-kimyoviy tadqiqotlar laboratoriyasi mudiri.
k.f.d., prof. D.A.Gafurova – O‘zbekiston Milliy universiteti.

Xorijiy ekspert: k.f.d., prof. Ye.V.Babayev – Moskva davlat universiteti, Organik kimyo kafedrası yetakchi ilmiy xodimi.

*O‘quv-uslubiy majmua Mirzo Ulug‘bek nomidagi O‘zbekiston Milliy universiteti Kengashining qarori bilan nashrga tavsiya qilingan
(2025- yil “28” noyabrdagi 3-sonli bayonnoma).*

MUNDARIJA

<u>I. ISHCHI DASTUR</u>	5
II. MODULNI O‘QITISHDA FOYDALANILADIGAN INTERFAOL TA’LIM METODLARI	15
III. NAZARIY MASHG‘ULOT MATERIALLARI	20
<u>IV. AMALIY MASHG‘ULOT MATERIALLARI</u>	58
<u>V. GLOSSARIY</u>	68
VI. ADABIYOTLAR RO‘YXATI	69

I. ISHCHI DASTUR

Kirish

Ushbu dastur O'zbekiston Respublikasining 2020-yil 23-sentabrda tasdiqlangan "Ta'lim to'g'risida" Qonuni, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2015-yil 12-iyundagi "Oliy ta'lim muassasalarining rahbar va pedagog kadrlarini qayta tayyorlash va malakasini oshirish tizimini yanada takomillashtirish to'g'risida" PF-4732-son, 2019-yil 27-avgustdagi "Oliy ta'lim muassasalari rahbar va pedagog kadrlarining uzluksiz malakasini oshirish tizimini joriy etish to'g'risida" PF-5789-son, 2019-yil 8-oktabrdagi "O'zbekiston Respublikasi oliy ta'lim tizimini 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida" PF-5847-son, 2020-yil 29-oktabrdagi "Ilm-fanni 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida" PF-6097-son, 2022-yil 28-yanvardagi "2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida" PF-60-son, 2023-yil 25-yanvardagi "Respublika ijro etuvchi hokimiyat organlari faoliyatini samarali yo'lga qo'yishga doir birinchi navbatdagi tashkiliy chora-tadbirlar to'g'risida" PF-14-son, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 11-sentabrdagi "“O'zbekiston — 2030” strategiyasi to'g'risida" PF-158-son Farmonlari, shuningdek, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2024-yil 21-iyundagi "Aholi va davlat xizmatchilarining korrupsiyaga qarshi kurashish sohasidagi bilimlarini uzluksiz oshirish tizimini joriy qilish chora-tadbirlari to'g'risida" PQ-228-son, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021-yil 17-fevraldagi "Sun'iy intellekt texnologiyalarini jadal joriy etish uchun shart-sharoitlar yaratish chora-tadbirlari to'g'risida" PQ-4996-son qarorlari va O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining "Oliy ta'lim muassasalari rahbar va pedagog kadrlarining malakasini oshirish tizimini yanada takomillashtirish bo'yicha qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida" 2019-yil 23-sentabrdagi 797-son hamda O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining "Oliy ta'lim tashkilotlari rahbar va pedagog kadrlarini qayta tayyorlash va malakasini oshirish tizimini samarali tashkil qilish chora-tadbirlari to'g'risida" 2024-yil 11-iyuldagi 415-son Qarorlarida belgilangan ustuvor vazifalar mazmunidan kelib chiqqan holda tuzilgan bo'lib, u oliy ta'lim muassasalari pedagog kadrlarining kasb mahorati hamda innovatsion kompetentligini rivojlantirish, sohaga oid ilg'or xorijiy tajribalar, yangi bilim va malakalarni o'zlashtirish, shuningdek amaliyotga joriy etish ko'nikmalarini takomillashtirishni maqsad qiladi.

Dastur doirasida berilayotgan mavzular ta'lim sohasi bo'yicha pedagog kadrlarni qayta tayyorlash va malakasini oshirish mazmuni, sifati va ularning tayyorgarligiga qo'yiladigan umumiy malaka talablari va o'quv rejalari asosida shakllantirilgan bo'lib, uning mazmuni yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi va jamiyatning ma'naviy asoslarini yoritib berish, oliy ta'limning normativ-huquqiy asoslari bo'yicha ta'lim-tarbiya jarayonlarini tashkil etish, pedagogik faoliyatda raqamli kompetensiyalarni rivojlantirish, ilmiy-innovatsion faoliyat darajasini oshirish, pedagogning kasbiy kompetensiyalarini rivojlantirish, ta'lim sifatini ta'minlashda baholash metodikalaridan samarali foydalanish, zamonaviy kimyo fanini o'zlashtirish, zamonaviy fizikaviy tadqiqot usullaridan foydalanish bo'yicha tegishli bilim, ko'nikma, malaka va kompetensiyalarni rivojlantirishga yo'naltirilgan.

Kursning maqsadi va vazifalari

Oliy ta'lim muasasalari pedagog kadrlarini qayta tayyorlash va ularning malakasini oshirish kursining **maqsadi** pedagog kadrlarning innovatsion yondoshuvlar asosida o'quv-tarbiyaviy jarayonlarni yuksak ilmiy-metodik darajada loyihalashtirish, sohadagi ilg'or tajribalar, zamonaviy bilim va malakalarni o'zlashtirish va amaliyotga joriy etishlari uchun zarur bo'ladigan kasbiy bilim, ko'nikma va malakalarini takomillashtirish, shuningdek ularning ijodiy faolligini rivojlantirishdan iborat

Kursning **vazifalariga** quyidagilar kiradi:

“**Kimyo**” yo'nalishida pedagog kadrlarning kasbiy bilim, ko'nikma, malakalarini takomillashtirish va rivojlantirish;

- pedagoglarning ijodiy-innovatsion faollik darajasini oshirish;

- pedagog kadrlar tomonidan zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalari, zamonaviy ta'lim va innovatsion texnologiyalar sohasidagi ilg'or xorijiy tajribalarning o'zlashtirilishini ta'minlash;

- o'quv jarayonini tashkil etish va uning sifatini ta'minlash borasidagi ilg'or xorijiy tajribalar, zamonaviy yondashuvlarni o'zlashtirish;

“**Kimyo**” yo'nalishida qayta tayyorlash va malaka oshirish jarayonlarini fan va ishlab chiqarishdagi innovatsiyalar bilan o'zaro integratsiyasini ta'minlash.

Kurs yakunida tinglovchilarning bilim, ko'nikma va malakalari hamda kompetensiyalariga qo'yiladigan talablar:

Oliy ta'lim muasasalari pedagog kadrlarini qayta tayyorlash va ularning malakasini oshirish kursining **maqsadi** pedagog kadrlarning innovatsion yondoshuvlar asosida o'quv-tarbiyaviy jarayonlarni yuksak ilmiy-metodik darajada loyihalashtirish, sohadagi ilg'or tajribalar, zamonaviy bilim va malakalarni o'zlashtirish va amaliyotga joriy etishlari uchun zarur bo'ladigan kasbiy bilim, ko'nikma va malakalarini takomillashtirish, shuningdek ularning ijodiy faolligini rivojlantirishdan iborat

Kursning **vazifalariga** quyidagilar kiradi:

“**Kimyo**” yo'nalishida pedagog kadrlarning kasbiy bilim, ko'nikma, malakalarini takomillashtirish va rivojlantirish;

- pedagoglarning ijodiy-innovatsion faollik darajasini oshirish;

- pedagog kadrlar tomonidan zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalari, zamonaviy ta'lim va innovatsion texnologiyalar sohasidagi ilg'or xorijiy tajribalarning o'zlashtirilishini ta'minlash;

- o'quv jarayonini tashkil etish va uning sifatini ta'minlash borasidagi ilg'or xorijiy tajribalar, zamonaviy yondashuvlarni o'zlashtirish;

“**Kimyo**” yo'nalishida qayta tayyorlash va malaka oshirish jarayonlarini fan va ishlab chiqarishdagi innovatsiyalar bilan o'zaro integratsiyasini ta'minlash.

Kurs yakunida tinglovchilarning bilim, ko'nikma va malakalari hamda kompetensiyalariga qo'yiladigan talablar:

Qayta tayyorlash va malaka oshirish kursining o'quv modullari bo'yicha tinglovchilar quyidagi yangi bilim, ko'nikma, malaka hamda kompetensiyalarga ega bo'lishlari talab etiladi:

Tinglovchi:

- “Yangi O‘zbekiston” konsepsiyasi, uning mazmun mohiyati va asosiy tamoyillarini;
- O‘zbekiston Respublikasi Konstitutsiyasida inson va fuqaroning asosiy huquqlari, erkinliklari va burchlarini;
- O‘zbekiston Respublikasining “Ilm-fan va ilmiy faoliyat to‘g‘risida” hamda “Innovatsion faoliyat to‘g‘risida” Qonunlarini;
- O‘zbekiston Respublikasining zamonaviy konstitutsionalizmini;
- aholi talablariga va xalqaro standartlarga to‘liq javob beradigan ta’lim, tibbiyot va ijtimoiy himoya tizimini tashkil qilishni;
- “Yashil” va inklyuziv iqtisodiy o‘shish tamoyillariga asoslangan yuqori iqtisodiy o‘shish dasturlari va ularning amaliyotga tadbiiq etish istiqbollari;
- O‘zbekiston Respublikasi Konstitutsiyasida ma’muriy-hududiy va davlat tuzilishi masalalarini;
- jamiyatning iqtisodiy negizlarini;
- “Xavfsiz va tinchliksevar davlat” tamoyiliga asoslangan siyosatni;
- Oliy ta’lim sohasiga oid qonun hujjatlari va ularning mazmunini;
- O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining oliy ta’lim tizimiga oid farmonlari, qarorlarini;
- O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining oliy ta’lim tizimiga tegishli qarorlarini;
- Oliy ta’lim, fan va innovatsiya vazirligining ta’lim jarayonlarini rejalashtirish va tashkil etishga oid buyruqlarini;
- Davlat ta’lim standartlari, ta’lim yo‘nalishlari va magistratura mutaxassisliklarining Malaka talablari, o‘quv rejalari, fan dasturlari va ularga qo‘yiladigan talablarni, o‘quv yuklamalarini rejalashtirish va ularning bajarilishini nazorat qilish usullarini;
- oliy ta’lim tizimida korrupsiya va korrupsiyaga oid huquqbuzarliklarga qarshi kurashish vazifalari, mazmun-mohiyati, yuzaga kelish sabablari, ijtimoiy-huquqiy omillarini;
- ta’lim jarayonini raqamli transformatsiyasini;
- raqamli ta’lim resurslari va dasturiy mahsulotlarini;
- raqamli ta’lim resursini pedagogik loyihalash texnologiyasini;
- mediasavodxonlik va xavfsizlik asoslarini;
- raqamli ta’lim resurslarini loyihalash uchun asosiy talablarni;
- meta texnologiyalar tushunchasi, avzalliklari va kamchiliklarini;
- zamonaviy ta’lim tizimida sun’iy intellekt (AI) ning ahamiyatini;
- ta’limda sun’iy intellektningdan foydalanish istiqbollari va xavflarini;
- bilimlarni sinash va baholashning aqlli tizimlarini;
- jahonda oliy ta’lim rivojlanish tendensiyalari: umumiy trendlar va strategik yo‘nalishlarni;
- zamonaviy ta’limning global trendlarini;
- inson kapitalining iqtisodiy o‘shishning asosiy omili sifatida rivojlanishida ta’limning yoshdagi ahamiyatini;
- oliy ta’limning zamonaviy integratsiyasi: global va mintaqaviy makonda

raqobatchilikdagi ustuvorliklari, universitetlarning xalqaro va milliy reytingini;

- xalqaro reyting turlari va ularning indikatorlarini;
- zamonaviy universitet jamiyatning faol, ko‘pqirrali va samarali faoliyat yurituvchi instituti sifatidagi uchta yirik vazifalarini;

- universitetlarning zamonaviy modellarini;
- zamonaviy kelajak universitetlarning beshta asosiy modellarini;
- tadbirkorlik universiteti faoliyatining muhim yo‘nalishlarini;
- pedagogning kasbiy kompetensiyalarini rivojlantirishning nazariy asoslarini;
- innovatsion ta‘lim muhiti sharoitida pedagogning kasbiy kompetensiyalarini rivojlantirish yo‘llarini;

- kasbiy kompetensiyalarning mazmun va mohiyatini;
- kasbiy kompetensiyalar va ularning o‘ziga xos xususiyatlarini;
- pedagogik texnikaning asosiy komponentlarini;
- pedagogik texnikani shakllantirish yo‘llarini;
- kasbiy kompetensiyalarni rivojlantirish jarayonini tashkil etishda innovatsion, akmeologik, aksiologik, kreativ, refleksiv, texnologik, kompetentli, psixologik, andragogik yondashuvlar va xalqaro tajribalar hamda ularning kasbiy kompetensiyalarni rivojlantirishga ta‘sirini;

- kasbiy kompetensiyalarni rivojlantirish jarayonida pedagogik deontologiyaning roli, ahamiyatini;

- kasbiy kompetensiyalarni rivojlantirishda uchraydigan to‘siqlarni yechishda, to‘g‘ri harakatlar qilishda pedagogning kompetentlik va kreativlik darajasi, pedagogik kvalimetriyasini;

- talabalar kasbiy tayyorgarlik sifatini kompleks baholashning nazariyasini;
- ta‘lim sifatiga ta‘sir etuvchi omillarni;
- kredit-modul tizimida talabalarning bilimi, ko‘nikmasi, malakasi va kompetensiyalarini nazorat qilish va baholashning o‘ziga xos xususiyatlari, didaktik funksiyalarini;

- baholash turlari, tamoyillari va mezonlarini;
- zamonaviy kimyoning asosiy tendensiyalari, turlarini;
- zamonaviy fizik-kimyoviy asbob-uskunallarni;
- kimyoning dolzarb mavzularga bag‘ishlangan yangi zamonaviy ilmiy yo‘nalishlarini;

- vodorod energetikasi yo‘nalishidagi ilmiy tadqiqotlarni;
- muqobil energetikani;
- elektr o‘tkazuvchan polimerlarni;
- oziq-ovqat tarkibidagi aminokislotalar, peptidlar va oqsillar, nuklein kislotalar, uglevodlarni tahlil qilishi **bilishi** kerak.

Tinglovchi:

- “O‘zbekiston-2030” strategiyasining mazmun-mohiyati va ahamiyatini yoritib berish;

- O‘zbekistonning xalqaro maydondagi siyosiy va iqtisodiy aloqalarini tahlil etish va baholash;

- yangi O‘zbekistonning ma’naviy va madaniy tiklanish dasturlari asoslarini o‘zlashtirish;
 - O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining Oliy ta’lim tizimiga tegishli qarorlari asosida ta’lim-tarbiya jarayonlarini tashkil etish;
 - xorijiy tajribalar asosida malaka talablari, o‘quv rejalari va fan dasturlarini takomillashtirish;
 - korrupsiyaga qarshi kurashish ichki tizimining huquqiy asoslarini shakllantirishda xalqaro tajribaning ahamiyatini yoritib berish;
 - multimedia va infografika asosida interaktiv didaktik materiallar yaratish va bulut xizmatlarida saqlash;
 - masofaviy ta’lim platformalari uchun video kontent yaratish;
 - Internetda mualliflik huquqlarini himoya qilish usullaridan foydalanish;
 - raqamli ta’lim resurslari sifatini baholash;
 - pedagogik jarayonda sun’iy intellektning rolini tahlil qilish va ahamiyatini ochib berish;
 - ta’lim sohasida sun’iy intellektdan foydalanishning afzalliklari va kamchiliklarini aniqlash;
 - OTMlarni reyting bo‘yicha ranjirlash;
 - jahon universitetlari reytingini tahlil etish va baholash;
 - universitetlarni mustaqil baholash yondashuvlarini aniqlashtirish;
 - tadbirkorlik universitetiga o‘tish uchun zarur bo‘ladigan o‘zgarishlarni aniqlash;
 - Universitet 1.0 dan Universitet 3.0 modeliga o‘tish borasidagi muammolarni aniqlash;
 - zamonaviy tadbirkorlik universiteti modeli tamoyillarini o‘zlashtirish;
 - pedagoglarning kreativ potentsiali tushunchasi va mohiyatini ochib berish;
 - pedagoglar kasbiy kompetensiyalarini rivojlantirishning innovatsion texnologiyalarini qo‘llash;
 - o‘qituvchi faoliyatida pedagogik texnikaning ahamiyatini yoritib berish;
 - tinglovchilar diqqatini o‘ziga tortish usullaridan foydalanish;
 - kasbiy kompetensiyalarni shakllantirish va rivojlantirish yo‘llarini tahlil etish;
 - kasbiy kompetensiyalarni rivojlantirish jarayonida uchraydigan to‘siqlar, qiyinchiliklar va ularni bartaraf etish;
 - talabalarning o‘quv auditoriyadagi faoliyatini baholash;
 - talabalarning kurs ishi, bitiruv malakaviy ishi, o‘quv-malakaviy amaliyot (mehnat faoliyati)ini nazorat qilish;
 - baholashning miqdor va sifat tahlilini amalga oshirish;
 - noorganik va organik birikmalarni individual holatda ajratib olishni tahlil qilish;
 - qo‘rg‘oshin saqlamagan qo‘sh perovskitlar asosida ekologik toza quyosh elementlarining sintezi va optik xossalarini yoritib berish;
 - elektr o‘tkazuvchan polimerlar xosalarini ochib berish;
 - kimyoviy jarayonlar va eritmalar termodinamikasini ochib berish
- ko‘nikmalariga** ega bo‘lishi lozim.

Tinglovchi:

- O‘zbekiston Respublikasi Konstitutsiyasidagi asosiy o‘zgarishlarni tahlil qilish va ularning zarurligini muhokama etish;
- O‘zbekiston Respublikasida ilm-fanni 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasining mazmun-mohiyati va ahamiyatini ochib berish;
 - mamlakatimizning raqamli va harbiy-tibbiy infratuzilmasini takomillashtirishga oid chora tadbirlar bilan ishlash;
 - davlat hokimiyatining tashkil etilishining konstitutsiyaviy asoslarini o‘zlashtirish;
 - Oliy ta’lim, fan va innovatsiya vazirligining ta’lim-tarbiya jarayonini tashkil etishga oid buyruqlari, Davlat ta’lim standartlari, ta’lim yo‘nalishlarining va magistratura mutaxassisliklarining malaka talablari, o‘quv rejalar va fan dasturlarini takomillashtirish;
 - o‘quv yuklamalarni rejalashtirish va ularning bajarilishini nazorat qilish;
 - meyoriy uslubiy hujjatlarni ishlab chiqish amaliyotini takomillashtirish mexanizmlarini tahlil etish;
 - korrupsiyaviy xavf-xatarlarni aniqlash, ularni majburiy baholash, korrupsiya xavfi yuqori hisoblangan lavozimlar ro‘yhatini shakllantirish, xavflar darajasini pasaytirish chora tadbirlarini amalga oshirish tartibidan samarali foydalanish;
 - an’anaviy va raqamli ta’limda pedagogik dizaynning xususiyatlarini ochib berish;
 - onlayn mashg‘ulotlarni tashkil etishda raqamli texnologiyalardan foydalanish;
 - mediasavodxonlik va xavfsizlik asoslarini o‘zlashtirish;
 - pedagogik faoliyatda raqamli kompetensiyalarni rivojlantirish;
 - raqamli ta’lim resurslaridan foydalanish;
 - meta texnologiyalarni ta’limga samarali integratsiya qilish yo‘llaridan foydalanish;
 - ta’limdagi sun’iy intellektning xususiyatlarini muhokama qilish;
 - xalqaro reyting turlari va ularning indikatorlarining ahamiyatini ochib berish;
 - OTM reytingiga ta’sir etuvchi omillarni tahlil etish;
 - universitetlarning zamonaviy modellarini o‘rganish;
 - OTM bitiruvchilari va xodimlari tomonidan texnologiyalar transferiga litsenziyalar oluvchi startaplarni shakllantirish va yaratish;
 - professor-o‘qituvchilarning tadqiqotchi sifatidagi nashr faolligini rivojlantirish istiqbollarini tahlil etish;
 - innovatsion ta’lim muhiti sharoitida pedagogning kasbiy kompetensiyalarini rivojlantirish;
 - pedagog kasbiy kompetensiyalarini rivojlantirish hususiyatlarini tahlil etish va baholash;
 - ijtimoiy va kasbiy tajribaga asoslangan intellektual mashqlarni ishlab chiqish;
 - o‘quv jarayoni ishtirokchilarini bir-birlari bilan tanishtirish, samimiy do‘stona munosabat va ijodiy muhitni yuzaga keltirish, tinglovchilarning ijodiy imkoniyati va

shaxsiy sifatlarini ochish, tinglovchilarning hamkorlikda ishlashlari uchun qulay sharoitni vujudga keltirish;

- tinglovchilarning kasbiy kompetensiyalarini o'rganish, tanishish;
- kasbiy kompetensiyalarni rivojlantirish jarayonida pedagogik deontologiyaning roli, ahamiyatini ochib berish;
- ta'lim sifatiga ta'sir etuvchi omillar (moddiy-texnik baza, professor-o'qituvchilarning salohiyati va o'quv-metodik ta'minot)ni tahlil etish va baholash;
- talabalarning o'quv auditoriyadan tashqari faoliyatini baholash;
- talabalarning o'quv auditoriyadan tashqari faoliyatini baholashda o'quv topshiriqlari (reproduktiv, produktiv, qisman-izlanishli, kreativ (ijodiy) murakkablik)ni ishlab chiqish metodikasidan samarali foydalanish;
- tabiiy va sintetik organik birikmalar haqida hozirgi zamon tasavvurlarini tahlil qilish;
- kvant nuqtalari sintezi, xossalari va qo'llanilishini tahlil etish;
- hodisalar mohiyati, tahlil qilinadigan ob'ekt tabiati, foydalanilgan asboblarning bo'yicha tahlil usullarining sinflanishini tahlil etish;
- muqobil energetika asoslaridan amaliyotda foydalanish;
- litiy-polimer batareyalar uchun yangi samarador elektrodlar yasash;
- polimer materiallar xossalari termodynamik va kinetik jihatdan yoritish;
- zamonaviy fizik-kimyoviy usullar yordamida birikmalarning tuzilishini aniqlash *malakalariga* ega bo'lishi zarur.

Tinglovchi:

- 2030-yilgacha O'zbekiston Respublikasining yashil iqtisodiyotga o'tish va ekologik barqarorlikga erishish strategiyasi mohiyati bilan tanishish;
- "Yashil" va inklyuziv iqtisodiy o'sish tamoyillariga asoslangan yuqori iqtisodiy o'sish dasturlarini amaliyotga tatbiq etish;
- yoshlar ma'naviyatini oshirish bo'yicha davlat dasturlari yuzasidan muhokama tashkil etish va ulardan samarali foydalanish;
- O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiya vazirligining buyruqlari asosida ta'lim-tarbiya jarayonlarini tashkil etish;
- Davlat ta'lim standartlari, malaka talablari, o'quv rejalar va fan dasturlari asosida fanning ishchi dasturini ishlab chiqish amal qilish va ularni ijrosini ta'minlash;
- oliy ta'lim tizimida manfaatlar to'qnashuviga yo'l qo'yilganlik holatlarini aniqlash, manfaatlar to'qnashuvi yuzaga kelishi mumkin bo'lgan sohalarni oldini olish va bartaraf etish uchun chora-tadbirlar ishlab chiqish, fuqarolarni ishga qabul qilish jarayonlarini nazoratga olinishini ta'minlash (nomzodlarni tekshirish tartibi), ushbu sohada qo'llanishi lozim bo'lgan xorij tajribasidan foydalanish;
- raqamli ta'lim resurslari va dasturiy mahsulotlarini o'quv jarayoniga faol tatbiq etilishini tashkil etish;
- raqamli ta'lim resursini pedagogik loyihalash texnologiyasi asoslarini o'zlashtirish;
- raqamli ta'lim muhitida pedagogik dizaynga oid innovatsiyalarni amaliyotga tatbiq etish;

- meta texnologiyalarni tahlil qilish va ularning ta'limdagi ta'sirini ochib berish;
- sun'iy intellektning asosiy xususiyatlarini asoslab berish;
- universitetlarning xalqaro va milliy reytingini baholash;
- OTMLlarda talim, ilmiy va innovatsion faoliyatni rivojlantirish, ilmiy tadqiqot natijalarni tijoratlashtirish yo'llarini tahlil etish va amaliyotga tadbiq etish;
- «Amaliyotchi professorlar» (PoP, Professor of Practice) modelini qo'llash;
- professor-o'qituvchilarning tadqiqotchi sifatidagi nashr faolligini rivojlantirish istiqbollarini yoritib berish;
- pedagogning kasbiy kompetensiyalarini rivojlantirishning nazariy asoslarini amaliyotga tadbiq etish;
- pedagogning kasbiy kompetensiyalarini rivojlantirishning pedagogik-psixologik trayektoriyalarini ishlab chiqish;
- kasbiy kompetensiyalarni rivojlantirish jarayonida uchraydigan to'siqlarning xilma-xilligi va o'ziga xos xususiyatlari, sabablarini amaliy tomonlarini yoritish, ularni yechish bosqichlarini guruh bilan birgalikda aniqlash;
- talabalar kasbiy tayyorgarlik sifatini kompleks baholash;
- talabalar kasbiy tayyorgarlik sifatini kompleks baholashning elektron monitoring tizimini yuritish;
- talabalarning ta'limiy (o'quv predmetlari), tarbiyaviy (ma'naviy-ma'rifiy tadbirlar) va rivojlantiruvchi (ilmiy-tadqiqot ishi, start-up loyihalar) maqsadlarini baholash;
- ionizatsiyalash usullari: elektron zarba, fotoionizatsiyalash, kimyoviy ionizatsiyalashni amaliyotga tadbiq etish;
- muqobil energetika asoslaridan amaliyotda foydalanish;
- kimyoviy jarayonlar va eritmalar termodinamikasni tavsiflash;
- yashil kimyoning hozirgi zamon tamoyillari va mezonlarini amaliyotga tadbiq etish;
- vodorod energetikasi yo'nalishidagi ilmiy tadqiqotlarni o'rganish;
- polimer xususiyatli grafitimon nanofotokatalizatorlar;
- tabiiy va suvda eruvchan polimerlar asosida metallokompleks olinishini va xalq xo'jaligidagi ahamiyatini yoritib berish, ushbu yo'nalishdagi zamonaviy fizik-kimyoviy tadqiqotlarni olib borish **kompetensiyalariga** ega bo'lishi lozim.

Modulni tashkil etish va o'tkazish bo'yicha tavsiyalar

Modulni o'qitish ma'ruza va amaliy mashg'ulotlar shaklida olib boriladi.

- Modulni o'qitish jarayonida ta'limning zamonaviy metodlari, pedagogik texnologiyalar va axborot-kommunikatsiya texnologiyalari qo'llanilishi nazarda tutilgan:

- ma'ruza darslarida zamonaviy kompyuter texnologiyalari yordamida prezentatsion va elektron-didaktik texnologiyalardan;

- o'tkaziladigan amaliy mashg'ulotlarda texnik vositalardan, ekspress-so'rovlar, test so'rovlari, aqliy hujum, guruhli fikrlash, kichik guruhlar bilan ishlash, kollokvium o'tkazish, va boshqa interaktiv ta'lim usullarini qo'llash nazarda tutiladi.

Modulning o'quv rejadagi boshqa modullar bilan bog'liqligi va uzviyligi

“Fizikaviy kimyo: zamonaviy nazariya va amaliyot” moduli mazmuni o'quv rejadagi “Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi va jamiyatning ma'naviy asoslari”, “Oliy ta'limning normativ huquqiy asoslari hamda tizimda korrupsiya va manfaatlar to'qnashuvining oldini olish”, “Pedagogik faoliyatda raqamli kompetensiyalar” “Ilmiy va innovatsion faoliyatni rivojlantirish”, “Pedagogning kasbiy kompetensiyalarini rivojlantirish” “Ta'lim sifatini ta'minlashda baholash metodikalari”, “Zamonaviy kimyo” mutaxassislik o'quv modullari bilan uzviy bog'langan holda pedagoglarning ta'lim jarayonida kasbiy pedagogik tayyorgarlik darajasini oshirishga xizmat qiladi.

Modulning oliy ta'limdagi o'rni

Modulni o'zlashtirish orqali tinglovchilar ta'lim jarayonida fizik kimyoning termodinamik qonunlari va fizikaviy kimyoning dolzarb mavzularga bag'ishlangan yangi zamonaviy ilmiy yo'nalishlar ma'lumotlar bazasi tizimlaridan foydalanish va amalda qo'llashga doir kasbiy kompetentlikka ega bo'ladilar.

Modul bo'yicha soatlar taqsimoti

№	Modul mavzulari	Auditoriya uquv yuklamasi		
		Jami	jumladan	
			Nazariy	Amaliy mashg'ulot
1.	Fizik kimyoning termodinamik qonunlari. Fizikaviy kimyoning dolzarb mavzularga bag'ishlangan yangi zamonaviy ilmiy yo'nalishlari.	4	2	2
2.	Vodorod energetikasi yo'nalishidagi ilmiy tadqiqotlar. Qo'rg'oshin saqlamagan qo'sh perovskitlar asosida ekologik toza quyosh elementlarining sintezi va optik xossalari.	4	2	2
3.	Kvant nuqtalari sintezi, xossalari va qo'llanilishi. Polimer materiallar xossalari termodinamik va kinetik jihatdan yoritish. Polimer gellar.	6	2	4
4.	Statistik va klassik termodinamikada entropiya. Geterogen va fermentativ katalizning o'ziga xos xususiyatlari.	4	2	2
Jami:		18	8	10

NAZARIY MASHG'ULOTLAR MAZMUNI

1-mavzu: Fizik kimyoning termodinamik qonunlari (2 soat).

Reja:

1.1. Fizik kimyoning termodinamik qonunlari, kimyoviy reaksiyalarni termodinamik nuqtai nazardan yo'nalishini aniqlash usullari.

1.2. Kimyoviy jarayonlar va eritmalar termodinamikasi.

2-mavzu: Vodorod energetikasi yo‘nalishidagi ilmiy tadqiqotlar (2 soat).

Reja:

2.1. Polimer xususiyatli grafitsimon nanofotokatalizatorlar.

2.2. Muqobil energetika.

3-mavzu: Kvant nuqtalari sintezi, xossalari va qo‘llanilishi. (2 soat).

Reja:

3.1. Elektr o‘tkazuvchan polimerlar.

3.2. Supramolekulyar kimyo yo‘nalishidagi ilmiy izlanishlar.

4-mavzu: Statistik va klassik termodinamikada entropiya. (2 soat).

Reja:

4.1. Statistik va klassik termodinamikada entropiya

4.2. Zamonaviy molekulyar-kinetik nazariyalarni mono-, bi- va uch-molekulyar reaksiyalarda qollash.

4.3. O‘tar holat nazariyasini termodinamik va statistik ifodalash.

AMALIY MASHG‘ULOTLAR MAZMUNI

1-amaliy mashg‘ulot: Fizikaviy kimyoning dolzarb mavzularga bag‘ishlangan yangi zamonaviy ilmiy yo‘nalishlari. (2 soat)

2- amaliy mashg‘ulot: Qo‘rg‘oshin saqlamagan qo‘sh perovskitlar asosida ekologik toza quyosh elementlarining sintezi va optik xossalari. (2 soat)

3-amaliy mashg‘ulot: Polimer materiallar xossalarini termodinamik va kinetik jihatdan yoritish. Polimer gellar. (4 soat)

4- amaliy mashg‘ulot: Geterogen va fermentativ katalizning o‘ziga xos xususiyatlari. (2 soat)

O‘QITISH SHAKLLARI

Mazkur modul bo‘yicha quyidagi o‘qitish shakllaridan foydalaniladi:

- ma’ruzalar, amaliy mashg‘ulotlar (ma’lumotlar va texnologiyalarni anglab olish, akliy kizikishni rivojlantirish, nazariy bilimlarni mustahkamlash);
- davra suhbatlari (kurilayotgan loyiha yechimlari bo‘yicha taklif berish kobiliyatini oshirish, eshitish, idrok kilish va mantikiy xulosalar chikarish);
- bahs va munozaralar (loyihalar yechimi bo‘yicha dalillar va asosli argumentlarni takdim kilish, eshitish va muammolar yechimini topish kobiliyatini rivojlantirish).

II. MODULNI O‘QITISHDA FOYDALANILADIGAN INTERFAOL TA’LIM METODLARI.

“KWLH” metodi

Metodning maqsadi: Mazkur metod tinglovchilarni yangi axborotlar tizimini qabul qilishi va bilimlarni tizimlashtirishi uchun qo‘llaniladi, shuningdek, bu metod tinglovchilar uchun mavzu bo‘yicha qo‘yidagi jadvalda berilgan savollarga javob topish mashqi vazifasini belgilaydi.

Izoh. KWLH:

Know – nimalarni bilaman?

Want – nimani bilishni xohlayman?

How - qanday bilib olsam bo‘ladi?

Learn - nimani o‘rganib oldim?

“KWLH” metodi	
1. Nimalarni bilaman: -	2. Nimalarni bilishni xohlayman, nimalarni bilishim kerak: -
3. Qanday qilib bilib va topib olaman:-	4. Nimalarni bilib oldim: -

“W1H” metodi

Metodning maqsadi: Mazkur metod tinglovchilarni yangi axborotlar tizimini qabul qilishi va bilimlarni tizimlashtirishi uchun qo‘llaniladi, shuningdek, bu metod tinglovchilar uchun mavzu bo‘yicha qo‘yidagi jadvalda berilgan oltita savollarga javob topish mashqi vazifasini belgilaydi.

What?	Nima? (ta’rifi, mazmuni, nima uchun ishlatiladi)	
Where?	Qaerda (joylashgan, qaerdan olish mumkin)?	
What kind?	Qanday? (parametrlari, turlari mavjud)	
When?	Qachon? (ishlatiladi)	
Why?	Nima uchun? (ishlatiladi)	
How?	Qanday qilib? (yaratiladi, saqlanadi, to‘ldiriladi, tahrirlash mumkin)	

“SWOT-tahlil” metodi

Metodning maqsadi: mavjud nazariy bilimlar va amaliy tajribalarni tahlil qilish, taqqoslash orqali muammoni hal etish yo‘llarni topishga, bilimlarni mustahkamlash, takrorlash, baholashga, mustaqil, tanqidiy fikrlashni, nostandart tafakkurni shakllantirishga xizmat qiladi.

S – (strength)	• kuchli tomonlari
W – (weakness)	• zaif, kuchsiz tomonlari
O – (opportunity)	• imkoniyatlari
T – (threat)	• xavflar

2.1-rasm.

“VEER” metodi

Metodning maqsadi: Bu metod murakkab, ko‘ptarmoqli, mumkin qadar, muammoli xarakteridagi mavzularni o‘rganishga qaratilgan. Metodning mohiyati shundan iboratki, bunda mavzuning turli tarmoqlari bo‘yicha bir xil axborot beriladi va ayni paytda, ularning har biri alohida aspektlarda muhokama etiladi. Masalan, muammo ijobiy va salbiy tomonlari, afzallik, fazilat va kamchiliklari, foyda va zararlari bo‘yicha o‘rganiladi. Bu interfaol metod tanqidiy, tahliliy, aniq mantiqiy fikrlashni muvaffaqiyatli rivojlantirishga hamda o‘quvchilarning mustaqil g‘oyalari, fikrlarini yozma va og‘zaki shaklda tizimli bayon etish, himoya qilishga imkoniyat yaratadi. “Veer” metodidan ma’ruza mashg‘ulotlarida individual va juftliklardagi ish shaklida, amaliy va seminar mashg‘ulotlarida kichik guruhlardagi ish shaklida mavzu yuzasidan bilimlarni mustahkamlash, tahlili qilish va taqqoslash maqsadida foydalanish mumkin.

Metodni amalga oshirish tartibi:



trener-o'qituvchi ishtirokchilarni 5-6 kishidan iborat kichik guruhlariga ajratadi;



trening maqsadi, shartlari va tartibi bilan ishtirokchilarni tanishtirgach, har bir guruhga umumiy muammoni tahlil qilinishi zarur bo'lgan qismlari tushirilgan tarqatma materiallarni tarqatadi;



har bir guruh o'ziga berilgan muammoni atroflicha tahlil qilib, o'z mulohazalarini tavsiya etilayotgan sxema bo'yicha tarqatmaga yozma bayon qiladi.



navbatdagi bosqichda barcha guruhlar o'z taqdimotlarini o'tkazadilar. Shundan so'ng, trener tomonidan tahlillar umumlashtiriladi, zaruriy axborotlr bilan to'ldiriladi va mavzu yakunlanadi.

2.2-rasm.

Muammoli savol					
1-usul		2-usul		3-usul	
afzalligi	kamchiligi	afzalligi	kamchiligi	afzalligi	kamchiligi
Xulosa:					

“Keys-stadi” metodi

«**Keys-stadi**» - inglizcha so'z bo'lib, («case» – aniq vaziyat, hodisa, «stadi» – o'rganmoq, tahlil qilmoq) aniq vaziyatlarni o'rganish, tahlil qilish asosida o'qitishni amalga oshirishga qaratilgan metod hisoblanadi. Mazkur metod dastlab 1921 yil Garvard universitetida amaliy vaziyatlardan iqtisodiy boshqaruv fanlarini o'rganishda foydalanish tartibida qo'llanilgan. Keysda ochiq axborotlardan yoki aniq voqea-hodisadan vaziyat sifatida tahlil uchun foydalanish mumkin.

“Keys metodi” ni amalga oshirish bosqichlari

Ish bosqichlari	Faoliyat shakli va mazmuni
1-bosqich: Keys va uning axborot ta’minoti bilan tanishtirish	✓ yakka tartibdagi audio-vizual ish; ✓ keys bilan tanishish (matnli, audio yoki media shaklda); ✓ axborotni umumlashtirish; ✓ axborot tahlili; ✓ muammolarni aniqlash
2-bosqich: Keysni aniqlashtirish va o‘quv topshirig‘ni belgilash	✓ individual va guruhda ishlash; ✓ muammolarni dolzarblik ierarxiyasini aniqlash; ✓ asosiy muammoli vaziyatni belgilash
3-bosqich: Keysdagi asosiy muammoni tahlil etish orqali o‘quv topshirig‘ining yechimini izlash, hal etish yo‘llarini ishlab chiqish	✓ individual va guruhda ishlash; ✓ muqobil yechim yo‘llarini ishlab chiqish; ✓ har bir yechimning imkoniyatlari va to‘siqlarni tahlil qilish; ✓ muqobil yechimlarni tanlash
4-bosqich: Keys yechimini shakllantirish va asoslash, taqdimot.	✓ yakka va guruhda ishlash; ✓ muqobil variantlarni amalda qo‘llash imkoniyatlarini asoslash; ✓ ijodiy-loyiha taqdimotini tayyorlash; ✓ yakuniy xulosa va vaziyat yechimining amaliy aspektlarini yoritish

“Assesment” metodi

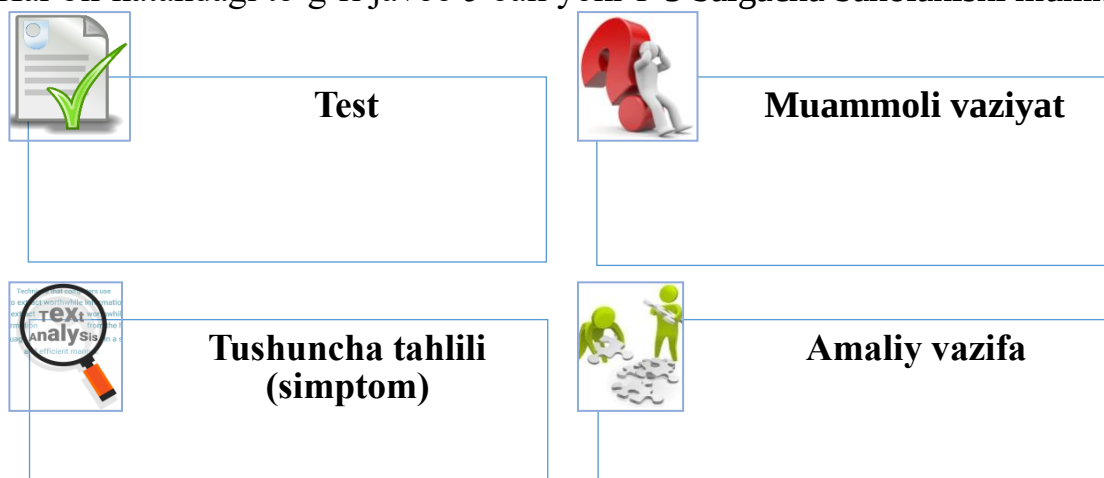
Metodning maqsadi: mazkur metod ta’lim oluvchilarning bilim darajasini baholash, nazorat qilish, o‘zlashtirish ko‘rsatkichi va amaliy ko‘nikmalarini tekshirishga yo‘naltirilgan. Mazkur texnika orqali ta’lim oluvchilarning bilish faoliyati turli yo‘nalishlar (test, amaliy ko‘nikmalar, muammoli vaziyatlar mashqi, qiyosiy tahlil, simptomlarni aniqlash) bo‘yicha tashhis qilinadi va baholanadi.

Metodni amalga oshirish tartibi:

“Assesment”lardan ma’ruza mashg‘ulotlarida talabalarning yoki qatnashchilarning mavjud bilim darajasini o‘rganishda, yangi ma’lumotlarni bayon qilishda, seminar, amaliy mashg‘ulotlarda esa mavzu yoki ma’lumotlarni o‘zlashtirish darajasini baholash, shuningdek, o‘z-o‘zini baholash maqsadida individual shaklda

foydalanish tavsiya etiladi. Shuningdek, o‘qituvchining ijodiy yondashuvi hamda o‘quv maqsadlaridan kelib chiqib, assesmentga qo‘shimcha topshiriqlarni kiritish mumkin.

Har bir katakdagi to‘g‘ri javob 5 ball yoki 1-5 balgacha baholanishi mumkin.



2.3-rasm.

“Insert” metodi

Metodni amalga oshirish tartibi:

- o‘qituvchi mashg‘ulotga qadar mavzuning asosiy tushunchalari mazmuni yoritilgan matnni tarqatma yoki taqdimot ko‘rinishida tayyorlaydi;
- yangi mavzu mohiyatini yorituvchi matn ta‘lim oluvchilarga tarqatiladi yoki taqdimot ko‘rinishida namoyish etiladi;
- ta‘lim oluvchilar individual tarzda matn bilan tanishib chiqib, o‘z shaxsiy qarashlarini maxsus belgilar orqali ifodalaydilar. Matn bilan ishlashda talabalar yoki qatnashchilarga quyidagi maxsus belgilardan foydalanish tavsiya etiladi:

Belgilar	Matn
“V” – tanish ma’lumot.	
“?” – mazkur ma’lumotni tushunmadim, izoh kerak.	
“+” bu ma’lumot men uchun yangilik.	
“– ” bu fikr yoki mazkur ma’lumotga qarshiman?	

Belgilangan vaqt yakunlangach, ta‘lim oluvchilar uchun notanish va tushunarsiz bo‘lgan ma’lumotlar o‘qituvchi tomonidan tahlil qilinib, izohlanadi, ularning mohiyati to‘liq yoritiladi. Savollarga javob beriladi va mashg‘ulot yakunlanadi.

III.NAZARIY MASHG‘ULOT MATERIALLARI

1-MAVZU: FIZIK KIMYONING TERMODINAMIK ONUNLARI

(2 SOAT).

Reja:

1.1. Fizik kimyoning termodinamik qonunlari, kimyoviy reaksiyalarni termodinamik nuqtai nazardan yo‘nalishini aniqlash usullari.

1.2. Kimyoviy jarayonlar va eritmalar termodinamikasi.

Tayanch iboralar: *issiqlik, temperatura, ish, ichki energiya, issiqlik sig‘imi, termodinamik sistema, klassik termodinamika, kimyoviy termodinamika, statistik termodinamika, nomuvozanat jarayonlar termodinamikasi, matematik apparat, termodinamika qonunlari, Karateodori printsipli, Karno tsikli, entropiya, entalpiya, Nernst teoremasi, Plank postulati.*

Fizik kimyo fani. Fizik kimyoning muammolari va usullari.

Nomidan ko‘rinib turganidek, fizik kimyo fizika va kimyo fanlari tutashgan nuqtadagi masalalarni qamrab oladi. Fizik kimyo kimyoviy jarayonlarning mohiyatini ochib beradi. Kimyoviy reaksiyalar turli xil fizik jarayonlar bilan bog‘liq: issiqlik almashinuvi - issiqlik yutilishi yoki ajralishi; yorug‘lik yutilishi yoki chiqarilishi; elektr hodisalari, hajm o‘zgarishi va boshqalar. Kimyoviy reaksiyalarda doimo kimyoviy va fizikaviy hodisalarning uzviy bog‘liqligi kuzatiladi, bu bog‘liqlikni o‘rganish fizik kimyoning asosiy vazifasidir.

Fizik kimyo kimyoviy o‘zgarishlar nazariyasining barcha masalalarini qamrab oladi va fizik parametrlarning kimyoviy jarayonlarga hamda kimyoviy tarkibning fizik xususiyatlarga ta‘sirini o‘rganadi.

Fizik kimyoning bir nechta tipik muammolarini ko‘rsatib o‘tamiz:

1. Kimyoviy muvozanat muammosi. Har qanday kimyoviy ishlab chiqarish nazariyasining asosi parametrlarning (T , P va boshqalar) funksiyasi sifatida kimyoviy reaksiyaning maksimal mumkin bo‘lgan unumini hisoblashdir.

2. Kimyoviy reaksiya tezligi muammosi. Sanoat qurilmalarining unumdorligi kimyoviy o‘zgarishlar tezligi bilan belgilanadi.

3. Jism xossalari uning tuzilishi va kimyoviy tarkibi bilan bog‘liqligi muammosi. Plastiklik, mustahkamlik, qattiqlik nima bilan belgilanadi va bunga qanday erishiladi.

4. Kimyoviy bog‘lanish muammosi. Molekulalarning reaksiya qobiliyati, tuzilishi, shakli, elektr va energetik xususiyatlari nima bilan aniqlanadi?

Zamonaviy fan va texnikada fizik kimyo bilan bevosita bog‘liq bo‘lgan bir qator muammolar alohida ahamiyat kasb etmoqda: berilgan xususiyatlarga ega bo‘lgan materiallar olish, moddalarni ajratish, o‘ta toza materiallar olish, sanoatni avtomatlashtirish, metallurgiya va kimyo sanoatida o‘ta yuqori harorat va bosimni qo‘llash.

Fizik kimyo foydalanadigan uchta asosiy usulni ko‘rsatish mumkin.

Birinchii usul - termodinamika. U tajribaviy va nazariy fan hisoblanadi. Barcha qonunlar va tushunchalar termodinamikada jarayonlarning molekulyar mexanizmiga chuqur kirmasdan tajribani tavsiflash natijasida shakllantiriladi.

Ikkinchi usul - jismlarning molekulyar tabiati haqidagi ta'limotga asoslangan statistik mexanikadir. Jismlarni mexanika qonunlariga bo'ysunuvchi zarralarning katta guruhlarida qarash termodinamika tushunchalari va qonunlarini asoslashga imkon beradi. Statistik mexanika jismlarning makroskopik xossalarini molekulalarning mikroskopik xossalari bilan bog'lash imkonini beradi.

Uchinchi usul atom va molekulalarning tuzilishi haqidagi ta'limotga asoslanadi. U molekula va qattiq jismlarning xususiyatlarini ularni tashkil etuvchi zarrachalar, birinchi navbatda elektronlarning harakat qonunlari va xossalari asosida tushuntirishga imkon beradi.

Fizik kimyoni o'rganish kimyoviy termodinamikadan boshlanadi.

Kimyoviy termodinamika umumiy termodinamika qoidalari va qonunlarini kimyoviy hodisalarni o'rganishga tatbiq etadi. Kimyoviy termodinamikaning qonuniyatlarini keltirib chiqarish uchun sistemaning boshlang'ich va oxirgi holatini hamda jarayon kechadigan tashqi sharoitlarni (T , P va hokazo) bilish kerak. Kimyoviy termodinamika moddaning ichki tuzilishi va jarayonlarning sodir bo'lish mexanizmi haqida hech qanday xulosa chiqarishga imkon bermaydi. Termodinamik usulning cheklanganligi ana shunda.

Ba'zi zaruriy atamalarni kiritamiz.

O'zaro ta'sirda bo'lgan va atrof-muhitdan amalda yoki shartli ravishda ajratilgan jism yoki jismlar guruhi sistema deb ataladi.

Atrof-muhit bilan issiqlik va ish almashmaydigan, ya'ni energiyasi va hajmi o'zgarmas bo'lgan sistemaga izolatsiyalangan sistema deyiladi.

Sistemaning holati - bu sistemani tavsiflovchi fizik va kimyoviy xususiyatlar majmuasi.

Termodinamik sistemaning holati termodinamik parametrlar bilan tavsiflanadi. Termodinamik parametrlarga harorat, bosim, hajm, konsentratsiya va boshqalar kiradi.

Termodinamik parametrlardan hech bo'lmaganda bittasining o'zgarishi bilan bog'liq bo'lgan sistemadagi har qanday o'zgarish termodinamik jarayon deb ataladi. Agar parametrlarning o'zgarishi faqat boshlang'ich va oxirgi holatga bog'liq bo'lib, jarayonning yo'liga bog'liq bo'lmasa, bunday parametr holat funksiyasi deyiladi.

Aylanma jarayon yoki sikl deb shunday jarayonga aytiladiki, bunda termodinamik sistema biror boshlang'ich holatdan chiqib, bir qancha o'zgarishlarga uchragandan so'ng yana o'sha holatga qaytadi; bu jarayonda istalgan holat funksiyasining o'zgarishi nolga teng bo'ladi.

Kechish sharoitiga qarab jarayonlar: izobarik, izoxorik, izotermik va adiabatik jarayonlarga bo'linadi.

Termodinamikaning birinchi qonuni.

Termodinamikaning birinchi qonuni issiqlik hodisalariga tatbiqan energiya umumiy saqlanish qonunining xususiy holidir.

Termik jarayonlarning balanslarini ko'rib chiqishda sistema hajmining o'zgarishi natijasida yuzaga keladigan ishni hisobga olish kerak. Faraz qilaylik, biror jism S ga teng bo'lgan sirtga ta'sir qiluvchi p bosimda V hajmni egallagan bo'lsin.

Jismning cheksiz kichik kengayishida bosim ta'sir qilayotgan sirt dS masofaga siljiydi va jism bajargan ish ulushi δW quyidagi tenglama bilan aniqlanadi: $\delta W = p dS$

$$dS = dV$$

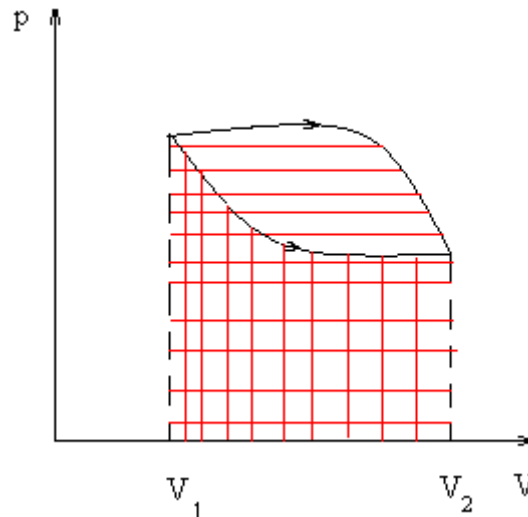
$$\delta W = p dV$$

va noelementar (chekli) jarayondagi ish porsiyalarining yig'indisiga teng va uning

qiymati aniq integral bilan ifodalanadi:

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

Bundan kelib chiqadiki, grafik usulda ish u yoki bu protsess sodir bo'lganda p va V orasidagi bog'lanishni ifodalovchi egri chiziqli ostidagi yuza bilan aniqlanadi. Bu bog'lanishning ko'rinishi jarayonning xarakteridan kelib chiqadi va shuning uchun V_1 dan V_2 gacha kengayish ishi jarayonning yo'liga bog'liq bo'ladi.



Grafikdan ko'rinib turibdiki, bir jarayondagi ish miqdori (gorizontal shtrixlash) ikkinchisiga (vertikal shtrixlash) nisbatan ancha katta.

Jismlarning kengayish ishi qaysi manba hisobiga bajariladi, degan savol tug'iladi.

Ravshanki, barcha jismlar parametrlarning berilgan qiymatlarida ma'lum ichki energiya zapasiga ega bo'ladi. Jismning ichki energiyasi harakatlanayotgan molekulalarning kinetik energiyasi va potensial energiyasi, ya'ni molekulalarning o'zaro tortishish va itarishish energiyalaridan iborat. Bu tashkil etuvchilar bilan bir qatorda ichki energiya zapasiga elektronlar energiyasi, atom yadrolaridagi energiya va nur energiyasi kiradi.

Jismning ichki energiyasi U temperatura T ga (molekulalarning kinetik energiyasi) va hajm V ga (chunki potensial energiya molekulalar orasidagi masofaga bog'liq) bog'liq bo'lishi kerak.

$$U = f(T, V).$$

Biroq protsess davomida faqat kinetik energiya o'zgarib, potensial energiya, masalan, ideal gazdagi kabi, o'zgarmay qoladigan hol ham bo'lishi mumkin. Yetarlicha yuqori harorat va katta hajmda har qanday gaz o'zini ideal gaz kabi tutadi. Bu yo'qoluvchi molekulalar orasidagi o'zaro ta'sir potensial energiyasi ularning kinetik energiyasiga nisbatan kichikligini va gaz egallagan hajmga nisbatan molekulalarning xususiy hajmini hisobga olmaslik mumkinligini bildiradi.

Ideal gazning tabiati Mendeleyev-Klayperon tenglamasiga bo'ysunadi:

$$pV = nRT$$

bu yerda n - V hajmdagi gazning mollar soni, R - universal gaz doimiysi, T - absolyut temperatura.

O'zgaras haroratda real gazning ichki energiyasi hajmga bog'liq, ya'ni

$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T \neq 0$. Bunga sabab shuki, gazning hajmi o'zgarganda molekulalar orasidagi masofa va binobarin, potensial energiya ham o'zgaradi. Ideal gazda ichki energiya hajmga bog'liq emas, chunki zarralar o'rtasida o'zaro ta'sir yo'q va bu holda $\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = 0$.

Sistema u yoki bu protsesslarda ishtirok etganda uning ichki energiyasi o'zgaradi. Ichki energiya tizimning holati bilan bir qiymatli aniqlanadi va uning har qanday jarayondagi o'zgarishi U faqat U_1 - boshlang'ich va U_2 - oxirgi holatlarning energiyasiga bog'liq bo'lib, jarayon sodir bo'ladigan yo'lga bog'liq emas:

$$\Delta U = U_2 - U_1$$

Bu energiyaning saqlanish qonunining natijasidir. Agar ichki energiya holat funksiyasi bo'lmaganda edi, u holda $\Delta U_{1-2} \neq \Delta U_{2-1}$ bo'lar edi, ya'ni bunday sikl natijasida biror miqdor energiya hosil bo'lar yoki yo'q bo'lar edi.

Shunday qilib, ichki energiya holat funksiyasidir va agar sistema holatini barcha o'zgaruvchilarni berib xarakterlasak, u holda shu bilan birga U kattalik ham aniqlanadi.

U holat funksiyasi bo'lgani uchun ichki energiyaning to'liq differensial dU haqida gapirish ma'noga ega. $U = f(T, V)$ ekanligini hisobga olib, tenglamani yozish mumkin.

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T dV + \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V dT.$$

Ish uchun to'liq differensial haqida emas, balki uning cheksiz kichik elementi haqida gapirish mumkin, chunki ish protsessning yo'lga bog'liq bo'lib, holat funksiyasi emas.

Sistemaning ichki energiyasining o'zgarishi faqat uning mexanik ish bajarishi yoki uning ustida shunday ish bajarilishi bilangina aniqlanmaydi. U ichki energiyaning boshqa sistemadan o'tishi yo'li bilan ham sodir bo'lishi mumkin. Sistema atrofidagi jismlardan oladigan (yoki beradigan) bu energiya issiqlik deb ataladi.

Tizimga berilgan issiqlik miqdori Q uning ichki energiyasini oshirish va quyidagi ishni bajarish uchun sarflanadi:

$$Q = \Delta U + W$$

Bu tenglama termodinamika birinchi qonunining analitik ifodasidir. Izolyatsiyalangan sistema uchun, ravshanki, $Q=0$ va $W=0$, demak, $\Delta U=0$.

Bundan termodinamika birinchi qonunining boshqacha ta'rifi ham kelib chiqadi: izolyatsiyalangan sistemaning ichki energiyasi o'zgarmas.

Cheksiz kichik jarayonda

$$\delta Q = dU + \delta W.$$

Issiqlik va ish porsiyalarini δQ va δW bilan belgilash bu kattaliklar xossalariining ichki energiya xossalariidan farq qilishini ta'kidlaydi.

Ichki energiya dan farqli ravishda issiqlik va ish tushunchalari sistemaga emas, balki jarayonlarga taalluqlidir. Issiqlik va ish faqat jarayon sodir bo'lganda, ya'ni holat o'zgarganda namoyon bo'ladi; ular energiyaning o'zi emas, balki faqat energiya uzatish shakllaridir.

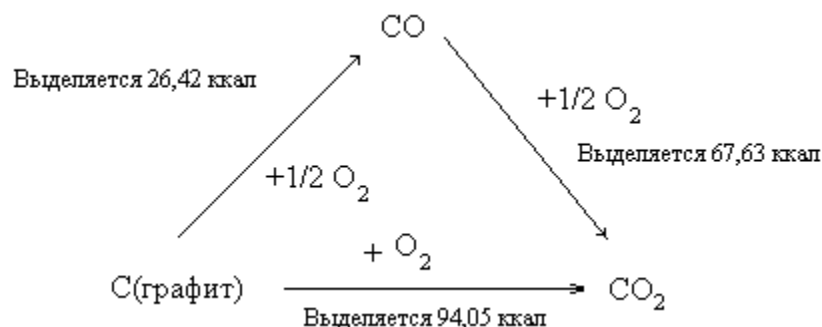
Agar qabul qilish issiqligi sistema tomonidan yutilsa, musbat, agar sistema tomonidan berilsa, manfiy deb hisoblansin. Agar ish sistemaning o'zi tomonidan

bajarilsa, u musbat, agar sistema ustida bajarilsa, manfiy hisoblanadi.

Tabiat hodisalarini yoki texnikaviy protsesslarni termodinamik analiz qilish uchun jismlar ichki energiyasi zapasining absolyut kattaligini bilish shart emas, chunki protsesslarda bu funksiyaning bevosita o'lchash mumkin bo'lgan ish va issiqlik effekti kattaliklari bo'yicha aniqlanishi mumkin bo'lgan o'zgarishigina ahamiyatga ega.

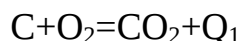
Termodinamik hisoblar. Gess qonuni.

1840-yilda rus akademigi Gess kislotalarning ammiak va ishqorlar bilan neytrallanish issiqligini ko'p marta o'lchash asosida reaksiyaning issiqlik effekti (Q_v yoki Q_p) reaksiya yo'liga, ya'ni uning oraliq bosqichlariga bog'liq emasligini va faqat dastlabki moddalar va reaksiya mahsulotlarining tabiati va holati bilan belgilanishini aniqladi.

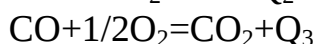
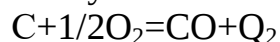


Shunday qilib, agar berilgan boshlang'ich mahsulotlardan turli yo'llar bilan berilgan oxirgi mahsulotlarni olish mumkin bo'lsa, u holda oraliq reaksiyalarning turidan qat'i nazar, yig'indi issiqlik effekti bir xil bo'ladi.

Masalan, CO_2 ni uglerodni kislorodda to'g'ridan-to'g'ri uglerod dioksidigacha yoqish orqali olish mumkin:



yoki dastlab CO ni olish va keyin uni ikki oksidgacha yoqish orqali:



Ikkala yo'l ham bir xil boshlang'ich holatga (C va O_2) va bir xil oxirgi holatga (CO_2) ega. Holatning bir xilligi deganda kimyoviy tarkibi, mavjudlik shartlari (T, p va boshqalar) bo'yicha, agregat holati va kristall modifikatsiyasi, disperslik darajasi va shu kabilar bo'yicha to'liq bir xillik tushuniladi.

Gess qonuniga ko'ra, uglerodning uglerod dioksidigacha yonishining issiqlik effekti uni uglerod oksidi orqali yoqishdagi umumiy issiqlik effektiga teng bo'lishi kerak, ya'ni.

$$Q_1 = Q_2 + Q_3.$$

Gess qonuni katta amaliy ahamiyatga ega. Masalan, uning yordamida tajribada aniqlash katta qiyinchilik tug'diradigan reaksiyalarning issiqlik effektlarini aniqlash mumkin.

Bu maqsadda Gess qonunining natijalaridan keng foydalaniladi.

Birinchi xulosa: biror ximiyaviy birikma parchalanishining issiqlik effekti absolyut kattaligi jihatidan shu birikma hosil bo'lishining issiqlik effektiga aniq teng va ishorasi jihatidan qarama-qarshidir.

Ikkinchi natija: agar turli boshlang'ich holatlardan bir xil oxirgi holatlarga olib keladigan ikkita reaksiya sodir bo'lsa, u holda issiqlik effektlari orasidagi farq bir boshlang'ich holatdan ikkinchisiga o'tishning issiqlik effektidan iborat bo'ladi.

Uchinchi natija: agar bir xil boshlang'ich holatlardan turlicha oxirgi holatlarga olib keluvchi ikkita reaksiya sodir bo'lsa, u holda ularning issiqlik effektlari orasidagi farq bir oxirgi holatdan boshqasiga o'tishning issiqlik effektidan iborat bo'ladi.

Hosil bo'lish issiqligi.

Oddiy moddalardan biror birikma hosil bo'lganda bu protsessda qandaydir issiqlik effekti kuzatiladi. Bunda ajralib chiqadigan issiqlik miqdori turli birikmalar uchun bir xil bo'lmaydi; bundan tashqari, issiqlik effektlarining qiymatlari sistemaning tashqi parametrlari (masalan, temperatura) o'zgarishi bilan sezilarli darajada o'zgaradi.

Hosil bo'lish issiqligi deb, eng barqaror modifikatsiyada olingan oddiy moddalardan bir mol ayni birikma hosil bo'lish reaksiyasining issiqlik effektiga aytiladi.

Standart hosil bo'lish issiqligi deb, 25°C (298 K) harorat va 1 atm bosimga nisbatan olingan birikmaning hosil bo'lish issiqligiga aytiladi. (760 mm sim. ust.). Agar bu kattalik ma'lum bo'lsa, u holda termokimyoviy hisoblash holat parametrlarining boshqa qiymatlarida hosil bo'lish issiqligini aniqlash imkonini beradi.

Hosil bo'lish issiqliklarining kattaliklari yo kalorimetr yordamida tajriba yo'li bilan, yoki hisoblash yo'li bilan aniqlanadi va turli birikmalar uchun standart termodinamik kattaliklar jadvallarida keltiriladi.

Jadvallar tuzish uchun qanday kattaliklarni tanlash maqsadga muvofiq? Ko'pchilik jarayonlar o'zgarmas bosimda borgan uchun bunday jadvallarni entalpiyalardan tuzish maqsadga muvofiqdir. Umuman aytganda, reaksiyada entalpiyaning o'zgarishini (ΔH) hisoblashda sanoq boshi sifatida qanday holat olinganligining (standart holat deb ataladigan) ahamiyati yo'q. Biroq, standart holat sifatida elementlarning 25° C (298° K) va 1 atm bosimdagi holatini tanlash eng qulaydir. Agar biror element bir necha modifikatsiyada mavjud bo'lsa, u holda standart holat sifatida 25 °C va atmosfera bosimida barqaror bo'lgan modifikatsiya qabul qilinadi.

Tegishli kattalik standart sharoitlarga tegishli ekanligini ko'rsatish uchun u mutlaq haroratni ko'rsatadigan pastki indeks va bitta atmosfera bosimi tengligini ko'rsatadigan yuqori "nol" indeksi bilan ta'minlanadi, ya'ni ΔH_{298}° .

Hosil bo'lish issiqliklari (yoki entalpiyalari) ning amaliy ahamiyati shundan iboratki, u yoki bu reaksiyada ishtirok etayotgan barcha moddalarning hosil bo'lish issiqliklari (entalpiyalari) ni bilgan holda bu reaksiyaning issiqlik effektini hisoblash mumkin. Shunday qilib, Gess qonuniga ko'ra, reaksiyaning issiqlik effekti

stexiometrik koeffitsiyentlarni hisobga olgan holda mahsulotlarning hosil bo'lish issiqliklari yig'indisi va dastlabki moddalarning hosil bo'lish issiqliklari yig'indisi o'rtasidagi farqqa teng. (To'rtinchi natija).

Bunda shuni esda tutish kerakki, ishtirokchilari sifatida o'zining barqaror modifikatsiyasida bo'lgan oddiy moddalar ishtirok etadigan reaksiyalar uchun bu oddiy moddalarning hosil bo'lish issiqligi shartli ravishda nolga teng deb olinadi.

Yonish issiqligi.

Ko'pchilik birikmalar uchun ularning oddiy moddalardan hosil bo'lish reaksiyasini amalga oshirib bo'lmaydi va hosil bo'lish issiqligini o'lchab bo'lmaydi. Aksariyat hollarda esa to'liq yonish reaksiyasini amalga oshirish mumkin bo'ladi. Bunda aniqlanadigan yonish issiqligi termokimyoviy hisoblashlar uchun hosil bo'lish

issiqligidan kam bo'lmagan amaliy ahamiyatga ega.

Yonish issiqligi deb, ma'lum bir mol moddaning yuqori oksidlar hosil bo'lguncha to'liq yonish reaksiyasining issiqlik effektiga aytiladi.

Standart yonish issiqligi deb standart sharoitga, ya'ni 25 C (298 K) va 1 atm. ga keltirilgan yonish issiqligiga aytiladi. (760 mm sim. ust.).

Yonish issiqligining amaliy ahamiyati shundaki, ular bo'yicha reaksiyalarning issiqlik effektlarini bevosita aniqlash mumkin, chunki reaksiyaning issiqlik effekti dastlabki moddalarning yonish issiqliklari yig'indisi va stexiometrik koeffitsiyentlarni hisobga olgan holda mahsulotlarning yonish issiqliklari yig'indisi o'rtasidagi farqqa teng. (Beshinchi natija).

Termodinamikaning ikkinchi qonuni.

Termodinamikaning birinchi qonuni termodinamik jarayonlarni to'liq tavsiflash uchun yetarli emas. U bu jarayonlarning energetik balansini aniq topishga imkon beradi, lekin ularning yo'nalishi va sodir bo'lishi mumkinligi haqida hech qanday ko'rsatma bermaydi.

Yo'nalishni topish va bu jarayonlarning mumkinligi yoki mumkin emasligi yoki mumkin emasligini aniqlashga imkon beradigan yana bir umumiy qonuniyat termodinamikaning ikkinchi qonunidir. Bundan tashqari, termodinamikaning ikkinchi qonuni qandaydir issiqlik energiyasi zapasining foydali ishga aylanishi eng to'liq o'tadigan shartlarni belgilaydi.

Tarixan termodinamikaning ikkinchi qonuni birinchi qonundan ancha oldin ta'riflangan, ammo vaqt o'tishi bilan u yangi va yangi talqinlarga ega bo'ldi va uning ta'riflari yanada qat'iyroq bo'lib bordi.

Ikkinchi qonunning asosiy qoidasini birinchi marta M. V. Lomonosov (1747 y.) bergan edi:..." issiq A jismga botirilgan V sovuq jism A jism olgan issiqlikdan ortiq issiqlik darajasini qabul qila olmaydi." Issiqlikning foydali ishga aylanish shartlarining birinchi matematik ta'rifini Sadi Karno (1824-yil) bergan. Bug' mashinalarini konstruksiyalashda katta ahamiyatga ega bo'lgan natijalarni ham u keltirib chiqardi. Nemis fizigi Klauzius (1850 y.) va ingliz fizigi Tomson (lord Kelvin) (1854 y.) ishlarida shunday g'oyalar rivojlantirildiki, ular dastlabki qo'yilgan issiqlik-texnikaviy masala chegarasidan ancha chiqib ketdi.

Termodinamika ikkinchi qonunining turli ta'riflari ma'lum. Aksioma sifatida issiqlikning kamroq isitilgan jismdan ko'proq isitilgan jismga o'z-o'zidan o'tishi mumkin emasligini qabul qilish mumkin (Klauzius: (so'zma-so'z) "Issiqlik hech qachon sovuqroq jismdan issiqroq jismga o'tmaydi, aksincha jarayon o'z-o'zidan sodir bo'ladi.")

Termodinamikani bayon qilishning eng ko'p qabul qilingan sistemasida ikkinchi qonun ikkinchi tur abadiy dvigatelni, ya'ni o'zgarmas temperaturada muhit issiqligini davriy ravishda ishga aylantirib turadigan mashinani yaratish mumkin emas, deb ta'riflanadi.

Bu ta'rifda bunday mashinaning davriy ishlashini ta'kidlab o'tish muhimdir, chunki o'zgarmas temperaturada issiqlik bir marta ishga aylanishi mumkin, masalan, ideal gaz izotermik kengayganda shunday bo'lishi mumkin. Biroq mashina davriy ravishda ishlashi uchun kengaygan gazni qaytadan siqish va bunga olingan ishni sarflash kerak.

Termodinamikaning birinchi qonuni holat funksiyasi - ichki energiyani kiritgani

kabi, ikkinchi qonun ham Klauziusning keyingi ishlari bilan unga berilgan shaklda o'zi entropiya deb atagan yangi holat funksiyasini kiritadi. Termodinamikaning ikkinchi qonuniga ko'ra, izolyatsiyalangan sistemaning ichki energiyasi o'zgarmas bo'lgani holda, uning entropiyasi barcha o'z-o'zicha boruvchi jarayonlarda ortadi.

Qaytmas va qaytar jarayonlar.

Entropiya deb ataluvchi funksiyaning o'zgarishini ko'rib chiqish jarayonlarni ikki sinfga ajratishga olib keldi.

Birinchi sinfga entropiyasi ortadigan qaytmas protsesslar kiradi. Ikkinchi sinfga entropiyasi o'zgarmaydigan qaytar jarayonlar kiradi.

Qaytmas jarayonlar.

Kundalik tajriba shuni ko'rsatadiki, o'z-o'zidan sodir bo'ladigan bir qator jarayonlar mavjud. Bunday jarayonlarga issiqlikning issiq jismdan sovuq jismga o'tishi, o'ta sovutilgan suyuqlikning muzlashi, gazning bo'shliqqa kengayishi, gazlar yoki suyuqliklarning o'zaro diffuziyasi eng yaqqol misol bo'ladi. Bularning hammasi jarayonlarning bir tomonlama borishiga misoldir. Ular doimo muvozanat holatiga yaqinlashish tomonga yo'nalgan bo'ladi va bu holatga erishilganda to'xtaydi. Issiqlik uzatishda muvozanat haroratlari tengligi bilan, kristallanishda suyuqlik va kristallar ustidagi bosimlar tengligi bilan, gaz kengayganda butun hajmdagi bosimlar tengligi bilan, diffuziyada konsentratsiyalar tengligi bilan aniqlanadi. O'z-o'zidan sodir bo'ladigan jarayonlarning bu barcha misollari umumiy belgiga ega: ular turli xil energiyalarning issiqlikka aylanishi bilan birga kechadi, issiqlik esa sistemaning barcha jismlari o'rtasida bir tekis taqsimlanadi. Bunda sistemaga protsess vaqtida ajralib chiqqan issiqlik miqdorining berilishi yuqorida aytilgan protsesslardan birontasining ham orqaga qaytishiga sabab bo'lmaydi. Shuni ta'kidlash kerakki, bilvosita yo'l bilan tizimni dastlabki holatiga qaytarish mumkin, ammo bunda atrof-muhitda muqarrar ravishda qandaydir energetik o'zgarishlarni amalga oshirish kerak bo'ladi.

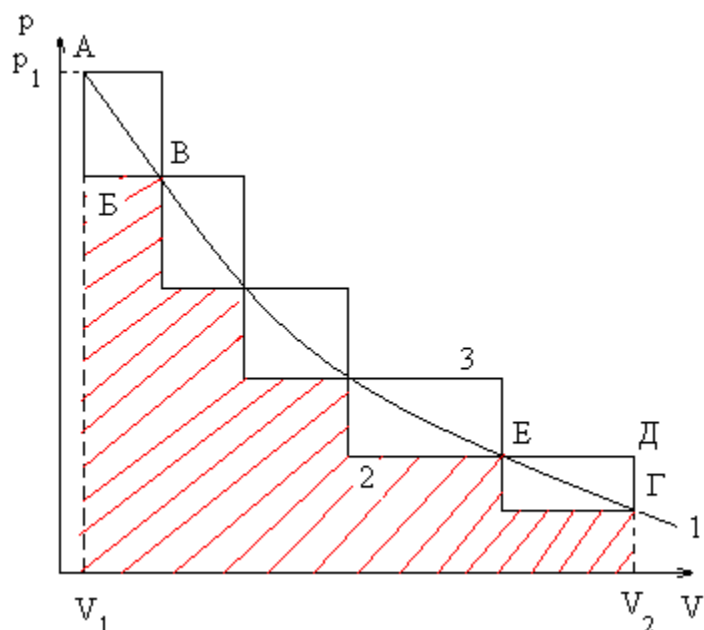
Qaytar jarayonlar.

Bu jarayonlar abstraksiyadan iborat bo'lib, xayoliy xarakterga ega, lekin nazariy tadqiqotlar uchun katta ahamiyatga ega. Biroq ko'pgina protsesslarni shunday sharoitlarda olib borish mumkinki, bunda ularning qaytarlikdan chetga chiqishi istalgancha kichik bo'lsin. Bu jarayonlarning o'ziga xos xususiyati shundan iboratki, jarayonning har bir kichik bosqichida sistemaning holati muvozanat holatiga cheksiz yaqin bo'ladi.

Demak, bunday cheksiz yaqin holatlarning ketma-ket qatoridan o'tayotgan jarayonlarning yo'nalishini o'zgartirganda nafaqat sistemani va uni o'rab turgan muhitni dastlabki holatiga qaytarish, balki ularni (sistema va muhitni) to'g'ri jarayondagi kabi aynan o'sha o'zgarishlardan o'tishga majbur qilish mumkin.

Qaytar jarayon deb shunday jarayonga aytiladiki, uning yordamida tizimning o'zida ham, atrof-muhitda ham hech qanday o'zgarishlarni amalga oshirmasdan, tizimni dastlabki holatiga qaytarish mumkin.

$T = \text{const}$ bo'lgan ideal gaz vertikal silindrda joylashgan bo'lib, unda ishqalanishsiz harakatlanayotgan porshenning bosimi p_1 va hajmi V_1 bo'lsin (A nuqta). Gaz bosimi porshen ustiga sepilgan qum bilan muvozanatlashadi. Bunday muvozanat holatlar to'plami $pV = \text{const}$ tenglama va grafik ravishda berilgan temperatura uchun silliq egri chiziq 1 (izoterma) bilan ifodalanadi.



Agar porshendan chekli miqdorda qum olinsa, porshen ko'tariladi, bunda gazning bosimi keskin kamayadi (B nuqttagacha), hajmi esa muvozanat kattalikkacha ortadi (V nuqta). Porshendan qumni oxirgi porsiyalar bilan olishda gaz kengayadi. Bunday protsessning xarakteri pog'onali 2 chiziq bilan, ishning kattaligi esa bu chiziq ostida boshlang'ich V_1 hajmdan oxirgi V_2 hajmgacha bo'lgan oralikda yotuvchi shtrixlangan yuza bilan tasvirlangan.

Agar gaz yana siqilsa, porshenni qum porsiyasi bilan birinchi marta yuklagandan keyin bosim keskin ortadi (t. G dan D gacha), so'ngra gazning hajmi muvozanat holatigacha kamayadi (t. Ye). Porshenni qum porsiyalari bilan yuklash davom ettirilsa, 3 chiziq bo'yicha yana dastlabki holatga erishish mumkin. Ko'rinib turibdiki, siqilishga sarflangan ish kengayishda olingan ishdan katta va demak, jarayon qaytmas bo'lib o'tgan.

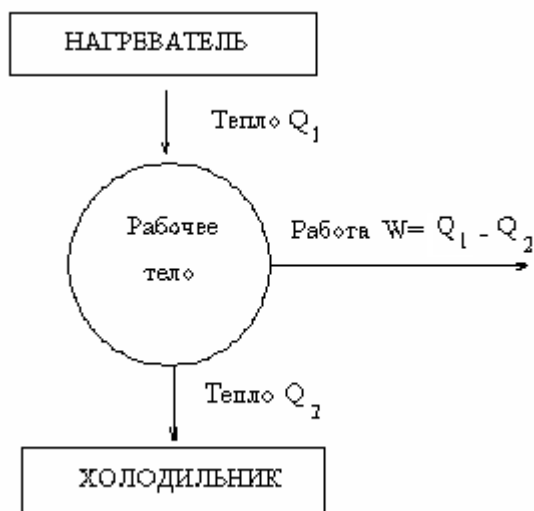
Agar porshendan yukni bittadan qum zarrasi olib tashlansa, gazning bosimi juda kam kamayadi, hajmi esa juda kam ortadi. Protsess bunday o'tkazilganda u qaytar protsessga yaqinlashadi va uning borishi 1 egri chiziq bilan tasvirlanadi. Ravshanki, porshenni ayrim qum zarralari bilan yuklashdagi siqilish protsessi ham shu egri chiziq bilan tasvirlanadi.

Shunday qilib, agar protsess cheksiz sekin borsa va har qanday ishqalanish bo'lmasa, protsess qaytar protsess bo'ladi.

Termodinamika ikkinchi qonunining matematik ifodasi.

Termodinamika II qonunining matematik ta'rifiga kelish uchun issiqlik mashinalarining ishlash prinsipi bilan tanishish zarur. Bunday mashinalarning ishlashi foydali ish koeffitsiyenti bilan xarakterlanadi.

Q1 - sistema (mashina) ning qizigan jism (qizdirgich) dan olgan issiqlik miqdori.



Q_2 - sistemaning o'zidan sovuqroq jismga (sovutgichga) uzatgan issiqlik miqdori.

$Q_1 - Q_2$ ayirma ishga aylangan issiqlik miqdorini ifodalaydi.

$$W = Q_1 - Q_2.$$

Agar issiqlik mashinasi ishqalanishsiz va atrof-muhitga issiqlik yo'qotishlarisiz ishlasa, u holda

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{W}{Q_1} = \eta \quad \text{foydali ish}$$

koeffitsiyenti hisoblanadi.

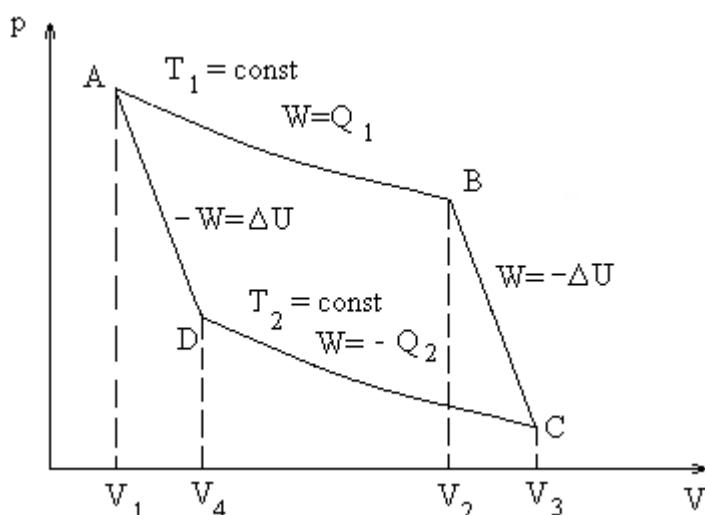
Karno sikli.

Ikkita izotermik (AB) va (CD)

hamda ikkita adiabatik (BC) va (DA) qaytar holat o'zgarishlaridan iborat termodinamik jarayonni ko'rib chiqamiz. Bu ideal sikl Karno sikli deb ataladi.

Dastlab sistema V_1 hajm va T_1 temperatura bilan xarakterlanuvchi A holatda bo'ladi. V_1 va T_1 ning berilgan qiymatlariga p_1 bosim mos keladi. So'ngra sistemani $T = \text{const}$ da V_2 hajmgacha AB izotermik kengaytirildi, shundan so'ng sistema V_2 , T_1 , p_2 parametrlar bilan xarakterlanuvchi B holatga o'tadi. A holatdan B holatga o'tish tizimga beriladigan issiqlik hisobiga bajariladigan ish bilan bog'liq:

$$Q_1 = RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (3)$$



So'ngra sistema V_3 , T_2 va p_3 parametrlar bilan xarakterlanuvchi C holatga o'tganda sistemaning V_3 hajmgacha adiabatik kengayishi sodir bo'ladi. Bu o'tish ichki energiyaning kamayishi hisobiga sodir bo'ladi:

$$-\Delta U = C_V(T_2 - T_1) \quad (4)$$

So'ngra sistema $T_2 = \text{const}$ da V_4 hajmgacha siqiladi (CD) va V_4 , T_2 va p_4 parametrlar bilan xarakterlanuvchi D holatga keladi. Siqilish uchun sarflangan ish atrof-muhitga berilgan issiqlikka o'tadi:

$$-Q_2 = -RT_2 \ln \frac{V_3}{V_4} \quad (5)$$

So'ngra sistema adiabatik ravishda (DA) V_1 hajm va T_1 temperaturagacha

siqiladi, ya'ni V_1 hajm va T_1 temperaturada r_1 bosimga ega bo'lishi kerak bo'lgan dastlabki A holatga keladi. Bunda sarflangan ish ichki energiyani oshirishga sarflanadi:

$$\Delta U = C_v(T_1 - T_2) \quad (6)$$

Bu tenglamalarni qo'shib, quyidagini olamiz:

$$\begin{aligned} Q_1 - \Delta U - Q_2 + \Delta U &= Q_1 - Q_2 = RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} + C_v(T_2 - T_1) - RT_2 \ln \frac{V_3}{V_4} + C_v(T_1 - T_2) = \\ &= RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} - RT_2 \ln \frac{V_3}{V_4} \end{aligned} \quad (7)$$

VS adiabatada uchun quyidagiga egamiz:

$$T_1 V_2^{\gamma-1} = T_2 V_3^{\gamma-1}, \quad (8)$$

DA adiabatada uchun esa:

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_4^{\gamma-1} \quad (9)$$

(8) tenglamani (9) ga bo'lib, quyidagini olamiz:

$$\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{\gamma-1}, \text{ yoki } \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4} \quad (10)$$

Shuning uchun (7) tenglamani quyidagicha ifodalash mumkin:

$$Q_1 - Q_2 = R(T_1 - T_2) \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (11)$$

Bu tenglamani (3) tenglamaga bo'lishdan hosil bo'lgan bo'linma foydali ish ko'effitsiyentini beradi:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (12)$$

(12) tenglamani boshqacha ko'rinishda ifodalash mumkin:

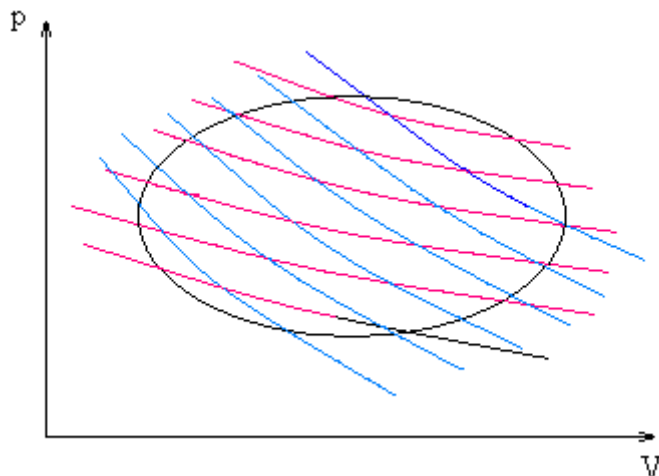
$$\begin{aligned} 1 - \frac{Q_2}{Q_1} &= 1 - \frac{T_2}{T_1} \\ \frac{Q_2}{Q_1} &= \frac{T_2}{T_1} \\ \frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} &= 0 \end{aligned}$$

Karno siklining foydali ish ko'effitsiyenti (η) har doim qaytmas jarayonlardan tashkil topgan har qanday doiraviy siklning (η') foydali ish ko'effitsiyentidan katta:

$$\eta > \eta' \quad (13)$$

Ixtiyoriy olingan biror siklni ko'rib chiqamiz.

Bu konturni katta adiabatalar soni bilan bo'lamiz. Adiabatada bilan sikl egri chizig'ining kesishish nuqtalari orqali izotermalar o'tkazamiz. Bunda har biri ikkita izoterma va ikkita adiabatadan iborat bo'lgan kichik Karno sikllarini hosil qilamiz.



Karno sikllari soni cheksiz ko'p bo'lgan chegaraviy holda ularning yuzlari yig'indisi siklning umumiy yuzasiga teng bo'ladi.

Cheksiz kichik sikllarning har biri uchun quyidagi tengliklar o'rinli:

$$\frac{\delta Q'_1}{T'_1} - \frac{\delta Q'_2}{T'_2} = 0$$

$$\frac{\delta Q''_1}{T''_1} - \frac{\delta Q''_2}{T''_2} = 0 \text{ и т.д.}$$

Bu tengliklarni qo'shib, siklning keltirilgan issiqlik $\left(\frac{\delta Q}{T} \text{ или } \frac{Q}{T}\right)$ effektlarining algebraik yig'indisi nolga tengligini topamiz:

$$\sum \frac{\delta Q}{T} = 0.$$

Limitda algebraik yig'indi $\sum \frac{\delta Q}{T}$ yopiq kontur bo'yicha olingan integralga o'tadi:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = 0$$

Biror funksiyaning yopiq kontur bo'yicha integrali nolga teng bo'lgani uchun integral ostidagi ifoda shu funksiyaning to'liq differensial bo'ladi, funksiyaning o'zi esa holat funksiyasidir.

Bu funksiya entropiya deb ataladi va S bilan belgilanadi.

Demak, $\oint dS = 0$, $\frac{\delta Q}{T} = dS$ qaytuvchan jarayonlar uchun.

Agar qaytmas jarayonlardan iborat siklni ko'rib chiqsak, u holda (13) ga ko'ra quyidagilarga ega bo'lamiz:

$$\oint dS < 0$$

$$\frac{\delta Q}{T} < dS$$

Termodinamika ikkinchi qonunining matematik ifodasi:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$$

yoki differensial shaklda: bunda tenglik belgisi qaytar jarayonlarga, tengsizlik belgisi $\delta Q \leq TdS$ qaytmas jarayonlarga tegishli bo'ladi.

Entropiya quyidagi xossalarga ega:

1. Entropiya holat funksiyasidir.

2. Entropiya additiv xossa hisoblanadi. Demak, sistemaning entropiyasi uning tarkibiy qismlari entropiyalarining yig'indisiga teng.

3. Entropiya moddaning tartibsizligining o'lchovidir. Sistemada tartibsizlik qancha ko'p bo'lsa, entropiyaning qiymati shuncha katta bo'ladi, demak, gaz entropiyasi suyuqlik entropiyasidan, suyuqlik entropiyasi esa qattiq jism entropiyasidan katta bo'ladi. Modda qizdirilganda entropiya ortadi, chunki sistemada tartibsizlik kuchayadi.

Entropiyaning o'lchamligi energiyaning gradusga bo'lingan birliklarini ifodalaydi $\frac{Дж}{\text{моль} \cdot \text{град}}$; $\frac{Дж}{\text{г} \cdot \text{град}}$; $\frac{Дж}{\text{г} - \text{атом} \cdot \text{град}}$; Entropiya berilgan temperaturaning 1° ga to'g'ri keladigan energiya miqdorini xarakterlaydi.

Termodinamik funksiyalar: Gibbs energiyasi va Gelmgols energiyasi.

Izolyatsiyalangan sistemalarda entropiya faqat qaytmas jarayonlarda ortishi va muvozanatda maksimumga erishishi mumkin. Shuning uchun undan izolyatsiyalangan sistemadagi jarayonlarning yo'nalishi haqida fikr yuritish uchun foydalanish mumkin. Lekin amalda ko'pchilik jarayonlar izolyatsiyalanmagan sistemalarda kechadi. Deyarli barcha sanoat agregatlarining ishlashi issiqlik almashinuvi va hajmning o'zgarishi bilan bog'liq. Shuning uchun bunday ochiq sistemalar uchun muvozanatning boshqa mezonlarini tanlash maqsadga muvofiqdir. Bunda jarayonlarning mumkinligi yoki mumkin emasligi ular bajarishi mumkin bo'lgan ish bilan bog'lanadi. Ish jarayonning yo'liga bog'liq bo'lgani uchun uni mezon sifatida tanlab bo'lmaydi. Lekin agar protsessni o'zgarmas temperaturadagi xususiy hol bilan cheklasak, u holda protsess qaytar bo'lganda maksimal ish biror holat funksiyasining o'zgarishi bilan aniqlanadi.

$$\delta Q = dU + \delta W$$

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T}$$

$$TdS \geq dU + \delta W$$

$$TdS \geq dU + pdV \quad (15)$$

(15) tenglama termodinamika I va II qonunlarining birlashgan tenglamasi deb ataladi.

$$pdV \leq -dU + TdS$$

$$\delta W \leq -d(U - TS)$$

$$\delta W \leq -dA$$

$$U - TS = A \quad (16)$$

(16) tenglama A holatning yangi funksiyasini - o'zgarmas hajmdagi erkin energiya yoki Gelmgols energiyasini kiritadi.

Qaytar izotermik jarayonda bajarilgan ish o'zgarmas hajmdagi erkin energiya deb ataladigan $A = U - TS$ holat funksiyasining kamayishiga teng bo'ladi.

Qaytar izotermik jarayonda erkin energiyaning kamayishi bajarilgan ishga teng bo'ladi.

Agar haroratning o'zgarmaslik shartiga hajmning o'zgarmaslik sharti, ya'ni $\delta W = pdV = 0$ qo'shilsa, quyidagi natija hosil bo'ladi.

$$0 \leq -dA \text{ yoki}$$

$$dA \leq 0.$$

Bundan temperatura va hajm o'zgarmas bo'lganda erkin energiya qaytar

protsslarda o'zgarmasligi, qaytmas protsslarda esa faqat kamayishi mumkinligi kelib chiqadi. Bu shuni anglatadiki, A funksiya yopiq bo'lmagan tizimlardagi jarayonlarning yo'nalishi haqida fikr yuritishga imkon beradigan mezondir. Ravshanki, bunday sistemalar uchun muvozanat sharti erkin energiyaning minimum bo'lishidir (V va $T = \text{const}$ bo'lganda).

Texnikada ko'pchilik jarayonlar o'zgarmas bosimda sodir bo'ladi. Shuning uchun o'zgarmas hajmdagi erkin energiyadan tashqari, bosim va temperatura o'zgarmas bo'lgan sharoitda muvozanat kriteriysi bo'lib xizmat qiladigan holat funksiyasini kiritish maqsadga muvofiqdir.

Agar tizim hajmi o'zgarsa, u holda

$$\begin{aligned}pdV &\leq -dA \\dA + pdV &\leq 0\end{aligned}$$

Bosim o'zgarmas bo'lganda:

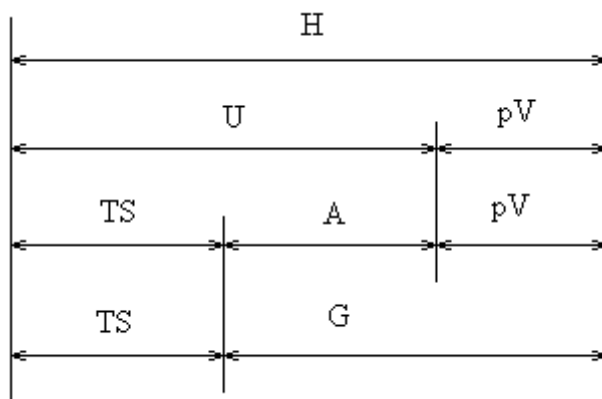
$$d(A + pV) \leq 0.$$

Shunday qilib, o'zgarmas bosimdagi erkin energiya (Gibbs energiyasi, izobarik-izotermik potensial) deb ataladigan yangi G holat funksiyasi quyidagi tenglama bilan aniqlanadi:

$$G = A + pV = U - TS + pV = H - TS.$$

Qaytar jarayonlarda Gibbs energiyasining kattaligi o'zgarmaydi, qaytmas jarayonlarda esa faqat kamayishi mumkin. Demak, sistemalarda r va T o'zgarmas bo'lganda muvozanat sharti Gibbs energiyasining minimum bo'lishidir.

Agar holatning turli funksiyalari orasidagi bog'lanish grafik usulda tasvirlansa, bu bog'lanish yanada yaqqolroq ko'rinadi.



Erkin energiya va entropiyaning holat parametrlariga bog'liqligi.

Bir mol ideal gazning A va G funksiyalari uchun ifodalarni topamiz. O'zgarmas hajmda issiqlik sig'imini aniqlashdan kelib chiqadiki

$$U = U_0 + \int_0^T C_V dT,$$

bu yerda U_0 - jismning absolyut noldagi ichki energiyasi.

$$A = U - TS$$

O'zgarmas temperaturada ideal gazning entropiyasi hajm ortishi bilan ortadi, bosim ortishi bilan esa kamayadi.

$$dS = \frac{(dU + pdV)}{T}$$

$$S = C_V \ln T + R \ln V + I,$$

bu yerda I - integrallash doimiysi.

$$A = U_0 + \int_0^T C_V dT - T(C_V \ln T + R \ln V + I) = D(T) - RT \ln V,$$

unda $D(T) = U_0 + \int_0^T C_V dT - TC_V \ln T - I \cdot T$ - faqat temperaturaga bog'liq bo'lgan

o'zgarish kattalik. Almashtirib $V = \frac{RT}{P}$, olamiz

$$A = D'(T) + RT \ln P$$

T.k. $G = A + pV$, ideal gazlar uchun $G = A + RT$.

$D'(T)$ funksiyaga RT ni kiritib, topamizki

$$G = L(T) + RT \ln p.$$

$L(T)$ kattalik ko'pincha G_0 orqali belgilanadi.

A va G funksiyalar turli jarayonlar va reaksiyalarning imkoniyatlarini tahlil qilishda keng qo'llaniladi.

Agar $G_{(olmos)} > G_{(grafit)}$ bo'lsa, u holda $\Delta G = G_{(olmos)} - G_{(grafit)} > 0$ bo'ladi, bunday protsessning bo'lishi mumkin emas. Ammo boshqa r va T lar uchun G kattalikning ishorasi teskarisiga o'zgarishi mumkin. Haqiqatan ham, hozir bu protsess $T \approx 3000$ K va $p \approx 100000$ atm da amalga oshadi.

Shunga o'xshash ko'pgina masalalarni yechish uchun A va G funksiyalarning T , V va p ga bog'liqligini bilish kerak.

$$A = U - TS$$

Bu tenglamani differensiallab:

$$dA = dU - TdS - SdT$$

va unga qiymat qo'yib $TdS = \delta Q = dU + pdV$, olamiz

$$dA = -pdV - SdT.$$

Bu tenglama Gelmgols energiyasining V va T ga bog'liqligini beradi.

$$\left(\frac{\partial A}{\partial V}\right)_T = -p \quad (17)$$

$$\left(\frac{\partial A}{\partial T}\right)_V = -S \quad (18)$$

$G = U - TS + pV$ tenglamani differensiallab, quyidagini olamiz:

$$dG = dU - TdS - SdT + pdV + Vdp.$$

TdS qiymatini qo'yib, quyidagini olamiz:

$$dG = Vdp - SdT.$$

Bundan kelib chiqadiki

$$\left(\frac{\partial G}{\partial p}\right)_T = V \quad (19)$$

$$\left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_p = -S \quad (20)$$

(18) va (20) tenglamalardagi ifodalarni Gibbs energiyasi va Gelmgols energiyasi uchun ifodalarga qo'yib, quyidagini olamiz:

$$A = U + T \left(\frac{\partial A}{\partial T}\right)_V \quad (21)$$

$$G = H + T \left(\frac{\partial G}{\partial T} \right)_p \quad (22)$$

(21) va (22) tenglamalar Gibbs-Gelmcols tenglamalari deb ataladi. Ular bir jinsli modda uchun o'zgarish hajmda (Gelmcols energiyasi) va o'zgarish bosimda (Gibbs energiyasi) erkin energiyaning temperaturaga bog'liqligini beradi. Bu tenglamalarni yanada qulayroq shaklda ifodalash mumkin, shuning uchun tenglamaning ikkala qismini T^2 ga bo'lib, quyidagini olamiz:

$$\left[\frac{\partial \left(\frac{G}{T} \right)}{\partial T} \right]_p = - \frac{H}{T^2} \quad (23)$$

yoki

$$d \left(\frac{G}{T} \right) = H d \left(\frac{1}{T} \right) \quad (24)$$

A va G funksiyalarning o'zgarishi uchun, ya'ni jarayonlar uchun (21), (22), (23) tenglamalar quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\begin{aligned} \Delta A &= \Delta U + T \left(\frac{\partial \Delta A}{\partial T} \right)_V \\ \Delta G &= \Delta H + T \left(\frac{\partial \Delta G}{\partial T} \right)_p \\ \left[\frac{\partial \left(\frac{\Delta G}{T} \right)}{\partial T} \right]_p &= - \frac{\Delta H}{T^2}. \end{aligned}$$

Yana bir bor turli tizimlarda jarayon yo'nalishini aniqlash haqida:

izolyatsiyalangan tizimlar uchun:

$dS \geq 0$ ishorasi = muvozanat holatiga tegishli

> 0 - o'z-o'zidan bo'ladigan jarayonlarga

izolyatsiyalanmagan tizimlar uchun:

T va V - const bo'lganda

$dA \leq 0$ Faqat Gelmcols energiyasining kamayishi bilan boradigan jarayonlar o'z-o'zidan sodir bo'lishi mumkin, bunda ularning sodir bo'lish chegarasi Gelmcols energiyasining ma'lum bir minimal qiymatiga erishishdir (yoki $A < 0$ bo'lganda - o'z-o'zidan sodir bo'ladigan jarayon, $A > 0$ bo'lganda - teskari jarayon, $A = 0$ bo'lganda - muvozanat holati).

T va p - const bo'lganda

$dG \leq 0$ Gibbs energiyasining kamayishi bilan boradigan jarayonlarga o'z-o'zidan sodir bo'lishi mumkin, shu bilan birga ularning sodir bo'lish chegarasi berilgan sharoitlar uchun Gibbs energiyasining ma'lum bir minimal qiymatiga erishishdir (yoki $G < 0$ bo'lganda - o'z-o'zidan sodir bo'ladigan jarayon, $G > 0$ bo'lganda - teskari jarayon, $G = 0$ bo'lganda - muvozanat holati).

MAVZUGA DOIR SAVOLLAR:

1. Termodinamikaning birinchi qonuni nimadan iborat? U matematik jihatdan qanday ifodalanadi?
 2. Entalpiya nima va u ichki energiya bilan qanday bog'langan?
 3. Termodinamikaning ikkinchi qonunining fizik ma'nosi nima?
 4. Entropiya nima? Nima uchun u tizimning tartibsizligi o'lchovi hisoblanadi?
 5. Termodinamikaning uchinchi qonuni qanday ta'riflanadi?
- Issiqlik effektlari va holat funksiyalari
6. Izoxorik va izobarik issiqlik sig'imlarining farqi nimada?
 7. Issiqlik sig'imi va entalpiya qanday bog'langan?
 8. Reaksiyaning standart entalpiyasini qanday aniqlash mumkin?
 9. Gess qonuni nima va u qanday qo'llaniladi?
 10. Birikmaning hosil bo'lish entalpiyasi qanday hisoblanadi?
- Erkin energiya va kimyoviy muvozanat
11. Gibbs energiyasi nima va u jarayonning spontanligi bilan qanday bog'langan?
 12. Gibbs-Gelmhols tenglamasini qanday izohlash mumkin?
 13. Gibbs energiyasining o'zgarishi kimyoviy muvozanatga qanday ta'sir ko'rsatadi?
 14. Gibbs energiyasini muvozanat doimiysi bilan qanday tenglama bog'laydi?
 15. Temperatura o'zgarishi bilan muvozanat qanday o'zgaradi? (Le Shatele prinsipi)

2-mavzu: Vodorod energetikasi yo‘nalishidagi ilmiy tadqiqotlar (2 soat).

Reja:

2.1. Polimer xususiyatli grafitsimon nanofotokatalizatorlar.

2.2. Muqobil energetika.

Vodorod Yer yuzida eng keng tarqalgan kimyoviy elementdir. U insoniyatga juda qadimdan ma'lum bo'lib, laboratoriya sharoitida vodorodning ajralib chiqishi va uning yonuvchanlik xususiyatlarining aniqlanishi XVIII asrga to'g'ri keladi. 1833-yilda fan elektr energiyasi yordamida suvdan vodorod olish usulini insoniyatga taqdim etdi - elektroliz usuli kashf etildi. Keyinchalik bir qator mamlakatlarda vodoroddan yoqilg'i sifatida foydalanish bilan bog'liq ishlar amalga oshirila boshlandi, ichki yonuv dvigatellarini vodorodga o'tkazish imkoniyatlari, shuningdek, yonish jarayonisiz vodoroddan elektr energiyasini oladigan elektrokimyoviy qurilmalar o'rganildi.

XX asrning birinchi yarmida vodorod energetikasi sohasidagi tadqiqotlar SSSR, Germaniya, Angliya, AQSH olimlari jamoalari tomonidan olib borilgan. Vodorod Birinchi jahon urushi davrida harbiy maqsadlarda va uzoq masofalarga yo'lovchi tashishda, shu jumladan transatlantik parvozlarda ishlatilgan dirijabllar uchun tashuvchi gaz sifatida muvaffaqiyatli qo'llanila boshlandi. Ikkinchi jahon urushi davrida vodorod nafaqat dirijabllarga yonilg'i quyish uchun, balki avtomobillarning ichki yonuv dvigatellarida yonilg'i sifatida ham ishlatilgan. Xususan, yonilg'i-moylash materiallari juda tanqis bo'lgan sharoitda, qamaldagi Leningradda 500 ga yaqin avtomobil vodorod yoqilg'isiga o'tkazildi, shuningdek, vodorod bilan ishlaydigan avtodrezinalar qo'llanildi. Urushdan keyingi davrda transportda vodorod unchalik mashhur emas edi. Avtomobil dvigatellari va kema energetika qurilmalari uchun energiya tashuvchilar jahon bozorini arzonroq neft yoqilg'ilari egallab oldi, vodorod va geliyda ishlaydigan dirijabllar esa o'z o'rnini samolyotlarga bo'shatib berdi.

Vodorod energetikasi tarixining yangi sahifasi 70-yillar boshidagi neft inqirozi bilan bog'liq. XX asr. Ish ikki asosiy yo'nalishda olib borildi:

- o'sha davrda asosiy energiya manbai bo'lgan neft o'rnini bosuvchi vodorodni qo'llash imkoniyatlarini o'rganish;
- vodoroddan foydalangan holda atom elektr stansiyalarining (AES) manyovrchanligini oshirish usulini baholash.

Vodoroddan energiya tashuvchi sifatida foydalanish bo'yicha ilmiy tadqiqotlarni rivojlantirishga, bir tomondan, Yaqin Sharq mamlakatlari tomonidan yetkazib berishga qo'yilgan embargo tufayli AQSH va Yevropada neft mahsulotlarining keskin tanqisligi va o'sha paytda mashhur bo'lgan neft, gaz va ko'mirning tez orada "cho'qqiga chiqishi" nazariyasi, boshqa tomondan, havoning, ayniqsa yirik shahar aglomeratsiyalarida yuqori darajada ifloslanishi va havo tarkibida issiqxona effektini keltirib chiqaradigan gazlar miqdorining ko'payishi natijasida yuzaga kelgan global darajadagi iqlim va ekologik kun tartibi turtki bo'ldi. Aynan shu davrni vodorod energetikasining vodorodni olish, saqlash, tashish va undan foydalanish muammolarini o'rganadigan ilmiy-texnik yo'nalish sifatida shakllanish davri bilan tavsiflash mumkin. Vodorodning bir qarashda yaqqol ko'rinib turgan afzalliklari, ya'ni uning tabiatda deyarli tugamaydigan zaxirasi va foydalanish jarayonida zararli chiqindilarning minimal miqdori uni transportda neft yoqilg'ilariga asosiy muqobil sifatida ilgari surishga turtki bo'ldi. Biroq, 1980-yillarning oxirida neft inqirozining tugashi va o'n yillik davrda (1990-yillar) neft narxining yetarlicha past darajada belgilanishi

transportda vodorodni keng miqyosda qo'llash masalalarini qayta ko'rib chiqishga turtki bo'ldi.

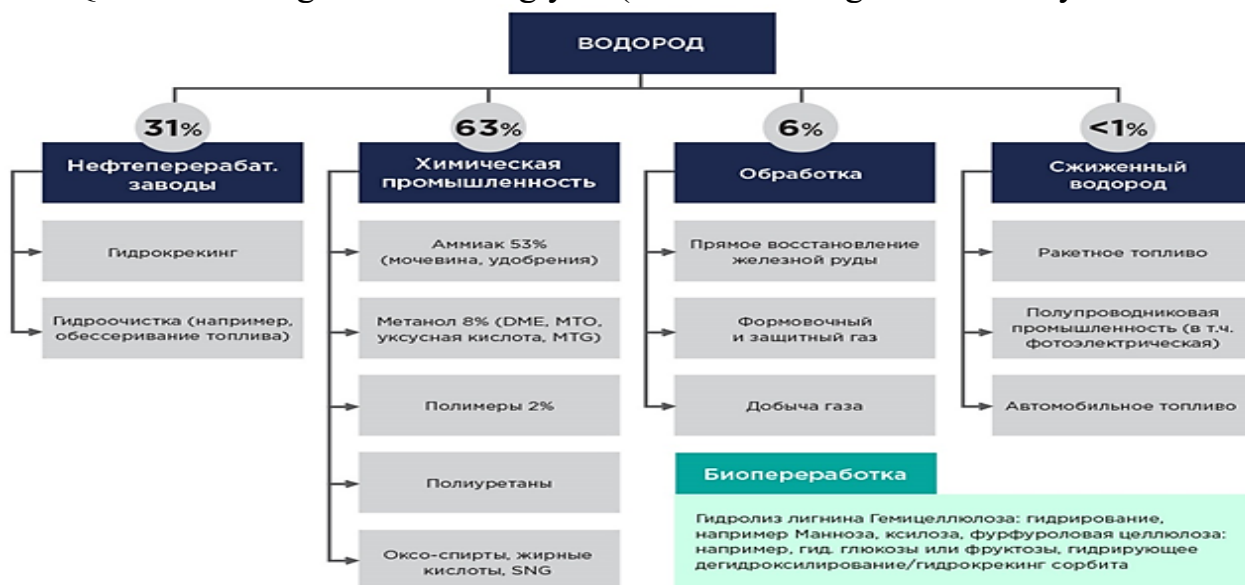
1970-yillar oxiridagi tadqiqotlar asosan AESlarda ishlab chiqarilgan elektr energiyasini saqlash usuli sifatida vodorod texnologiyalarini ishlab chiqishga qaratilgan edi. Yoqilg'i hujayralari talab kam bo'lgan davrlarda AES tomonidan ishlab chiqarilgan energiyani to'plashning asosiy usuli sifatida ko'rib chiqildi, bu esa atom stansiyalarining manevrini ta'minlashga imkon beradi.

Biroq, dunyoning aksariyat mamlakatlari uchun energiya balansida AES ulushining pastligi muhim emas edi, tizimning muvozanatlashuvi boshqa generatsiya manbalaridan foydalanish tufayli sodir bo'ldi. Masalan, Fransiya, Yaponiya va AQSH kabi muammo keskin bo'lgan mamlakatlar esa tannarxi bo'yicha raqobatbardoshroq bo'lgan gidroakkumulyatsiya elektr stansiyalarini qurishga e'tibor qaratdi.

Insoniyat tarixi davomida vodoroddan energiya tashuvchi sifatida keng miqyosda foydalanish ma'lum qiyinchiliklarga duch kelgan va vodorod yechimlari muqobil variantlardan doimo yutqazgan bo'lsa-da, neft va gazni qayta ishlash (gidrokreking va gidrotozalash) va kimyoda (ammiak, azotli o'g'itlar ishlab chiqarish) vodoroddan foydalanish jozibador bo'lib chiqdi va 1970-yillardayoq million tonnaga yetdi.

2000-yillarda ishlab chiqarishning yuqori stoxastikligi bilan ajralib turadigan qayta tiklanadigan energiya manbalari (QTEM, masalan, shamol va quyosh energiyasi) asosidagi qurilmalarning faol rivojlanishi tarmoqlar yuklamasini muvozanatlash masalasini yana dolzarb qilib qo'ydi. Shu bilan birga, ko'plab mamlakatlarda va xalqaro miqyosda kam uglerodli kun tartibi rivojlanishning asosiy ustuvor yo'nalishlaridan biriga aylandi. Olimlar va biznes vakillari qo'yilgan vazifalarni hal qilish uchun vodoroddan foydalanish imkoniyatlari haqida yana bir bor o'ylashdi.

QTEMdan olingan elektr energiyasi (talab kam bo'lgan davrlarda yoki.



Rangsiz vodorod ishlab chiqarishning asosiy texnologiyasiga qarab, vodorod oltita toifaga bo'linadi, ular turli xil ranglar bilan belgilanadi. Bular vodorodning kulrang, havorang, feruza, sariq, zarg'aldoq va yashil turlaridir. kulrang, havorang, feruza vodorod qazilma yoqilg'ilar asosida ishlab chiqariladi. Sariq va to'q sariq vodorod elektroliz yordamida olinadi, ammo bunda ishlatiladigan elektr energiyasi atom elektr stansiyasida ishlab chiqariladi. Yashil vodorod to'liq elektrolizga asoslangan bo'lib, unda kerakli elektr energiyasi quyosh yoki shamol energiyasi

hisobiga

ishlab

chiqariladi.



Vodorodning barcha toifalari, ayniqsa yashil vodorod, po'lat quyish, kimyo sanoati, uzoq masofali transport, kemachilik va aviatsiya kabi foydalanish qiyin bo'lgan va/yoki elektrlashtirilgan sohalarida issiqxona gazlari chiqindilarini kamaytirish uchun haqiqiy imkoniyatni ta'minlaydi. Neft, tabiiy gaz yoki ko'mir asosidagi vodoroddan farqli o'laroq, faqat qayta tiklanadigan energiya manbalari tomonidan amalga oshiriladigan elektroliz natijasida ishlab chiqariladigan "yashil" vodoroddan foydalanish energetika sektorining o'zi va yuqorida aytib o'tilgan qiyin elektrlashtiriladigan sektorlarning haqiqiy iqlim neytralligiga olib kelishi mumkin.

Elektroliz suv va elektr energiyasi yordamida vodorod olishning an'anaviy texnologiyasidir. Vodorod energiya balansida quyosh va shamol energiyasiga yaxshi qo'shimcha bo'lishi mumkin. Shunday qilib, vodorod shamol va quyosh energiyasidan foydalanishdagi beqarorlik va uzilishlar muammosining potentsial yechimi bo'lib, bu alohida mamlakatlarning energiya balanslarida zaxira energiya sifatida qazib olinadigan yoqilg'ilarning, ayniqsa tabiiy gazning sezilarli ulushini talab qiladi.

1970-yilda amerikalik elektrokimyogar Jon Bokris tomonidan taklif qilingan vodorod iqtisodiyoti konsepsiyasi qirq yildan ortiq vaqt davomida futuristik bo'lib tuyuldi. Mayk Skott o'zining vodoroddan foydalanish istiqbollari haqidagi so'nggi maqolasida yashil vodorod energetikaning kelajagi degan xulosaga keladi va o'z fikrini vodorod infratuzilmasini rivojlantirishga sarmoya kiritish bo'yicha keng ko'lamli yutuqlar bilan mustahkamlaydi. Bugungi kunda 162 mamlakatda 170 dan ortiq vodorod loyihalari mavjud. Dunyoda toza vodorodga bo'lgan talab ortib bormoqda. Masalan, 2022-yilda dunyoda 98 million tonna vodorod ishlab chiqarilgan (2020-yilda - 90 million tonna, 2021-yilda - 94 million tonna). Xalqaro energetika agentligi (XEA) hisobotiga ko'ra, 2050-yilga borib vodorodga bo'lgan global talab 528 million tonnaga yetishi kerak va uning jahon energiya balansidagi ulushi 18 foizni tashkil etadi (shu jumladan, 10 foizi "yashil" vodorodga to'g'ri keladi). Konsolidatsiyalashgan hisob-kitoblarga ko'ra, 2030-yilga borib global past uglerodli vodorod bozori hajmi yiliga 500-800 milliard dollarga yetadi. Vodorod energetikasi uskunalari, birinchi navbatda, elektrolizyorlar va yoqilg'i elementlarining global bozori ham faol shakllanmoqda. Uning hajmi bugungi kunda 5-7 milliard dollarni tashkil etadi va 2050-yilga kelib 200-

225 milliard dollarga yetishi mumkin. 2022-yilda dunyoda vodorodning asosiy iste'molchilari quyidagi sohalarda bo'lgan: neftni qayta ishlash (45%), ammiak va metanol ishlab chiqarish (mos ravishda 36% va 14%) va metallurgiya (5%). Energetika ehtiyojlari va transport sohasida vodorod iste'moli taxminan 40 ming tonnani (umumiy ko'rsatkichning 0,04%) tashkil etdi.

2020-yil 8-dekabrda yettita yetakchi ekologik toza vodorod ishlab chiqaruvchilari, Saudiya Arabistonining "ACWA Power" toza energiya guruhi, Avstraliyaning "CWP Renewables" energetika loyihalari ishlab chiqaruvchisi, Xitoyning "Envision" shamol turbinalari ishlab chiqaruvchisi, Italiyaning "Snam" gaz guruhi, Norvegiyaning "Yara" o'g'it ishlab chiqaruvchisi, "Iberdrola" va "Ersted" energetika gigantlari 2026-yilgacha ekologik toza vodorod ishlab chiqarishni 50 baravar oshirishni nazarda tutuvchi "Green Hydrogen Catapult" tashabbusini ishga tushirdilar. Mutlaq raqamlarda ishlab chiqarishning keskin o'sishi 25 gigavatt ekologik toza vodorod energiyasidan foydalanishni va vodorod ishlab chiqarish tannarxining 1 kilogramm uchun 2 AQSH dollari chegarasidan pastga tushishini anglatadi.

Ushbu bozorning asosiy tendensiyalari yuqori uglerod izli vodorodni past uglerodli vodorodga almashtirish, shuningdek, vodorod transporti infratuzilmasini shakllantirish va vodorodni ilgari ushbu gazdan ommaviy foydalanilmagan sohalarda qo'llashni boshlashdir.

Топ-10 перспективных водородных технологий

ИННОВАТЕК

Источник: данные Института статистических исследований и экономики знаний (ИСИЭЗ) НИУ ВШЭ



Производство



Хранение



Потребление

Ранг	Технологии	Индекс значимости	Этап цепочки создания стоимости
1	Топливные элементы (ячейки) на основе водорода (электрохимические генераторы)	1.00	
2	Материалы для водородных компонентов	0.85	
3	Производство водорода на основе солнечной энергии	0.47	
4	Паровая конверсия метана (на основе природного газа)	0.38	
5	Крупные промышленные установки для производства водорода	0.35	
6	Подземная газификация угля	0.33	
7	Системы и методы хранения водорода (в газообразном, жидком виде, гибридные системы и др.)	0.28	
8	Автотранспорт на водородных топливных элементах	0.17	
9	Электрохимический способ получения водорода (электролиз)	0.17	
10	Технологии производства «зеленого» водорода	0.16	

Bugungi kunda vodorod arzon va ekologik toza energiyani ishonchli olishni ta'minlay oladigan istiqbolli energiya tashuvchi sifatida qaraladi. Shuning uchun so'nggi o'n yilliklarda dunyoda vodorodni ishlab chiqarish, saqlash va tashish sohasida ko'plab yangi texnologiyalar ishlab chiqilgan.

Vodorodni saqlash sohasiga kelsak, bugungi kunda asosiy vazifa energiya samaradorligi va sig'imi bilan ajralib turadigan tijorat tizimlarini yaratishdan iborat. Sanoat miqyosida uzoq muddat foydalanish uchun eng qulay va arzon variantlardan biri vodorodni yer ostida saqlashdir. 1970-yillarda, masalan, AQSH va Germaniyada bu maqsadlar uchun yer osti tuz konlari jihozlangan. Qo'shma Shtatlarda hozirda vodorodning eng yirik yer osti omborini qurish rejalashtirilmoqda.

Vodorod-mobil sanoati rivojlanishining flagmanlari Yaponiya va Janubiy Koreya hisoblanadi. "Toyota" va "Hyundai" kompaniyalari vodorod yoqilg'isida ishlaydigan yo'lovchi elektromobillarini seriyali ishlab chiqarishni yo'lga qo'ydi. Davlat

tomonidan qo'llab-quvvatlanishi hisobiga yoqilg'i yacheykalarida yo'lovchi va yuk tashish transporti savdosi 2021-yilda 2020-yilga nisbatan 66 foizdan ko'proqqa oshdi.

Ekspertlar, umuman olganda, vodorod energetikasining jahon bozori 2030-yillarning boshidan oldin shakllanmasligiga moyil. Bu mavjud texnologiyalarning yetuk emasligi, shuningdek, vodoroddan xavfsiz va samarali foydalanishni ta'minlaydigan zarur qonuniy tartibga solishning yo'qligi bilan bog'liq. Vodorod bozorining rivojlanishiga vodorodni ishlab chiqarish va saqlashning yuqori xarajatlari, qiymat zanjirining har bir bosqichida energiya yo'qotishlari, tashishning murakkabligi va boshqalar ham to'sqinlik qilmoqda.

O'zbekiston

O'zbekiston Respublikasida "vodorod" energetikasini rivojlantirish davlat siyosati bo'lib, bu energiya resurslarini diversifikatsiya qilish zarurati va iqlim kun tartibi bilan bog'liq.

2021-yilda O'zbekiston Energetika vazirligi ACWA Power (Saudiya Arabistoni) va Amerikaning Air Products kompaniyalari bilan O'zbekistonda vodorod energetikasini rivojlantirish bo'yicha shartnomalar imzolagan edi. 2022-yil avgust oyida tomonlar yana bir shartnoma - "yashil" vodorodni sanoat miqyosida ishlab chiqarish bo'yicha shartnoma imzoladilar.

ACWA Power bilan loyiha 2 bosqichda amalga oshiriladi. 1-bosqichda ishlab chiqarish quvvati yiliga 3 ming tonna yashil vodorodni tashkil etishi kutilmoqda. Rejaga ko'ra, 1-bosqich 2023-yil may oyida vodorod va elektr energiyasini sotib olish to'g'risidagi bitim imzolanganidan so'ng amalga oshiriladi. 2-bosqich yakunlangach, quvvati 2,4 GVt bo'lgan shamol elektr stansiyalari (SHES) yiliga 500 ming tonna yashil vodorod ishlab chiqarish imkonini beradi. Korxonani 2024-yil dekabr oyida foydalanishga topshirish rejalashtirilgan.

Eslatib o'tamiz, 2023-yilning noyabr oyida "ACWA Power" kompaniyasi yashil vodorod ishlab chiqarish loyihasining 1-bosqichini amalga oshirishga kirishgan edi. Bu haqda Saudiya kompaniyasi matbuot xizmati xabar bermoqda.

ACWA Power uchun bu NEOM va Air Products bilan birgalikda amalga oshirilayotgan Saudiya Arabistonidagi NEOM Green Hydrogen Project'dan keyin yashil vodorod ishlab chiqarish bo'yicha 2-loyiha bo'ladi. ACWA Power Saudiya Arabistonining yetakchi ishlab chiqaruvchisi, investori va butun dunyo bo'ylab elektr stansiyalari, shuningdek, suvni chuchuklashtirish va yashil vodorod qurilmalari operatori hisoblanadi.

Eslatib o'tamiz, ACWA Power'dan tashqari, vodorod ishlab chiqarish loyihalariga vodorod ishlab chiqarish qurilmasi ishga tushirilgan Uzbekistan GTL zavodi ham qiziqish bildirmoqda.

Qurilma to'liq ishga tushirilgach, zavod yiliga 300 million kub metrgacha vodorod olish imkoniyatiga ega bo'ladi. Olingan hajm sintetik neft va yoqilg'i ishlab chiqarishda qo'llaniladi.

Qozog'iston

Qozog'istonda "yashil" vodorod ishlab chiqarishni SVEVIND Energy nemis-shved kompaniyasi Mang'istau viloyatida yo'lga qo'ymoqchi. Loyihani amalga oshirish bo'yicha yo'l xaritasi 2021-yilda imzolangan. Shu bilan birga, SVEVIND Energy Group Qozog'istonda yashil vodorod ishlab chiqarishga 50 milliard dollar sarmoya kiritish niyatida. 30 GVt quvvatga ega shamol va quyosh elektr stansiyalarini qurish, bu resurslar hisobiga yiliga 3 mln tonnagacha vodorod ishlab chiqarish

rejalashtirilgan.

Tojikiston

2040-yilga kelib Tojikiston ichki ehtiyojlar va Markaziy Osiyo mamlakatlariga eksport uchun yiliga 1 million tonna "yashil" vodorod ishlab chiqarishni rejalashtirmoqda. Ma'lum qilinishicha, 2030-yilga borib Tojikiston qayta tiklanadigan energiya quvvatini 10 GVtga yetkazishni rejalashtirmoqda. Hozirda mamlakat neft mahsulotlari importiga to'liq qaram bo'lib qolgan va hukumat "yashil" vodorod ishlab chiqarish rejasini, shu jumladan tashqi ta'minotga qaramlikni kamaytirish uchun ishlab chiqmoqda.

Rejalarga ko'ra, Tojikiston 2030-yilga borib 500 ming tonna "yashil" vodorod ishlab chiqarishni mo'ljallamoqda. Bunda ushbu hajmning 75 foizi Markaziy Osiyo mamlakatlariga eksportga yo'naltirilishi mumkin. Biroq hozircha na moliyaviy tafsilotlar, na yashil vodorod ishlab chiqarish bo'yicha hamkor kompaniyalar aniqlashtirilmagan.

Qirg'iziston

2023-yil iyun oyida Bishkekda Qirg'iziston Prezidenti Sadir Japarovning Germaniya Prezidenti Frank-Valter Shtaynmayer bilan uchrashuvida yashil vodorod ishlab chiqarish uchun Germaniya texnologiyalarini jalb qilish masalasi muhokama qilindi. Hozircha loyihalarni amalga oshirish bo'yicha aniq rejalar yo'q.

Turkmaniston

"Turkmankimyo" davlat konserni raisi Dovrangeldi Sapbayev OGT-2023 xalqaro forumi maydonida Turkmaniston kimyo sanoatini rivojlantirishning asosiy yo'nalishlari, xususan, vodorod energetikasini rivojlantirish haqida gapirdi. D.Sapbayev bu borada Turkmanistonda vodorod energetikasini diversifikatsiya qilish bo'yicha milliy strategiyani ishlab chiqish bo'yicha konseptual faoliyat olib borilayotganini ta'kidladi. Ushbu ishlar doirasida ushbu sohadagi xalqaro hamkorlikni jadallashtirish bo'yicha yo'l xaritasi ishlab chiqilgan.

MAVZUGA DOIR SAVOLLAR:

1. Vodorod energetikasi nima?
2. Energiya manbalarining iqtisodiy pasayishiga nisbatan ularning asosiy afzalliklari va kamchiliklari nimalardan iborat?
3. Ishlab chiqarishning qanday usullari mavjud?
4. "Kulrang," "ko'k" va "yashil" vodorodlar orasida qanday farq bor?
5. Iqtisodiyotning energetika va sanoatda qo'llanilishining asosiy sohalari nimalardan iborat?
6. Saqlash va tashishda qanday muammolar yuzaga keladi?

3-mavzu: Kvant nuqtalari sintezi, xossalari va qo'llanilishi. (2 soat).

Reja:

3.1. Elektr o'tkazuvchan polimerlar.

3.2. Supramolekulyar kimyo yo'nalishidagi ilmiy izlanishlar.

Tayanch iboralar: *Nanotexnologiya, nanomateriallar, kompyuter modellash, nanonaychalar, fullerenlar, nanomaterialli katalizatorlar, oltin nanozarrachalari, seriy dioksidi nanozarrachalari, o'tkazuvchan polimerlar, sopolimerlar.*

XX asrning ikkinchi yarmida paydo bo'lgan ko'plab spektroskopik usullar - elektron va atom-kuch mikroskopiyasi, yadro magnit rezonansi spektroskopiyasi, mass-spektrometriya - an'anaviy optik mikroskopiyani allaqachon "nafaqaga" jo'natgandek tuyuldi. Biroq fluoressensiya hodisasidan mohirona foydalanish "faxriy"ning umrini bir necha bor uzaytirgan. Ushbu maqolada biz optik mikroskopiyaga yangi kuchlar bergan va mashhur difraksion chegara ortiga qarash imkonini bergan kvant nuqtalari (fluorescent yarimo'tkazgich nanokristallar) haqida gaplashamiz. Kvant nuqtalarining noyob fizik xususiyatlari ularni biologik obyektlarni o'ta sezgir ko'p rangli qayd etish, shuningdek, tibbiy diagnostika uchun ideal vositaga aylantiradi

Kvant nuqtasi

Kvant nuqta noorganik yarimo'tkazgich material (kremniy, indiy fosfid, kadmiy selenid) nanokristallidir. "Nano" milliard ulushlarda o'lchanadi, bunday kristallarning o'lchamlari 2 dan 10 nanometrgacha o'zgarib turadi. Bunday kichik o'lcham tufayli nanozarrachalardagi elektronlar hajmiy yarimo'tkazgichlardagiga o'xshamaydi

Kvant nuqta o'tkazgich yoki yarimo'tkazgichning (masalan, CdTe, CdS, CdSe, ZnSe, ZnS va b.) zaryad tashuvchilari fazoda uchala yo'nalish bo'yicha chegaralangan bo'lagidan iborat. Ularning kvant deb atalishiga sabab shuki, bunday kichik o'lchamlarda ularda elektronlarning kvant, ya'ni diskret xossalari namoyon bo'ladi. O'ta kichik o'lchamli kristallarning fizik xossalari massiv kristallardan tubdan farq qilishi mumkin, masalan, metall xossasiga ega bo'lgan modda faqat o'lchamlarining kichrayishi hisobiga dielektrik holatga o'tishi mumkin. Zarrachalar o'lchamining kichrayishi taqiqlangan zona kengligining oshishiga olib keladi. Demak, zarrachalarning o'lchamiga qarab kvant nuqta emissiyasining to'lqin uzunligini o'zgartirish imkoniyati mavjud. Zarrachaning radiusi qancha katta bo'lsa, nurlanayotgan energiya shuncha kichik bo'ladi, emissiya to'lqin uzunligi shuncha katta bo'ladi. Kvant o'lchamli effekt deb kristallning hech bo'lmaganda bitta geometrik o'lchami elektronlarning de-Broyl to'lqin uzunligi bilan o'lchovdosh bo'lib qolganda uning termodinamik va kinetik xossalarining o'zgarishiga aytiladi.

Nanokristall yarimo'tkazgichli kvant nuqtalarning kashfiyotchilari, ularning elektron va optik xossalari ustida dastlabki tadqiqotlarni amalga oshirgan vatandoshlarimiz: A. I. Yekimov va A. A. Onushchenkolardir. 1981-yilda ular shisha matritsada shakllangan A₂B₆ birikmalarining mikrokristallari - birinchi KTlarini taklif qildilar va amalga oshirdilar. Kvant nuqtalari (KN) deb, tarkibida o'tkazuvchanlik elektronlari bo'lgan uchala o'lchamda ham 100 nanometrdan kichik bo'lgan nanoo'lchamdagi xarakterli o'lchamlarga ega bo'lgan zarrachalarga aytiladi. Bunday

o'lehamlarda kvant nuqta xossalari jihatidan atomga o'xshaydi, uni ko'pincha sun'iy atom deb ataydilar. Ma'lumki, kvant mexanikasida zarraga massa bilan birga uning energiyasiga bog'liq bo'lgan biror to'liq uzunligi ham beriladi. Bunda korpuskulyar-to'liq dualizmi namoyon bo'ladi. To'liq uzunligi bunday zarrachani chegaralovchi fazoning xarakterli o'lehamlari bilan taqqoslanadigan bo'lganda, energiya sathlari diskret bo'ladi, buni biz atomlar va kvant nuqtalarida kuzatamiz. Texnologiyaning yutuqlari tufayli energiya spektrini o'zgartirib, turli o'lehamdagi KT olish mumkin. Bu esa qo'yilgan vazifalarga bog'liq holda nanostrukturalarni shakllantirishda keng imkoniyatlar yaratadi.

Kvant nuqtasining energetik spektri bir jinsli emas, unda elektron (manfiy zaryadlangan zarra) va kovak uchun alohida energetik sathlar mavjud. Yarimo'tkazgichlarda teshik deb, yadro bilan elektron orasidagi bog'lanish uzilganda paydo bo'ladigan, son jihatdan elektronga teng bo'lgan musbat zaryad tashuvchi to'ldirilmagan valent bog'lanishga aytiladi. Agar kristallda zaryad tashuvchi sathdan sathga o'tishi uchun sharoit yaratilsa, bu o'tishda foton nurlanadi. Zarrachaning o'lehamini o'zgartirib, bu nurlanishning yutilish chastotasini va to'liq uzunligini boshqarish mumkin. Amalda esa bu shuni bildiradiki, nukta zarrachasining o'lehamiga qarab nurlantirilganda ular har xil rangda yorug'lik chiqaradi.

Nurlanish to'liq uzunligini zarracha o'lehami orqali nazorat qilish imkoniyati kvant nuqtalaridan ular tomonidan yutilgan energiyani yorug'lik nurlanishiga aylantiradigan barqaror moddalar - fotobarqaror lyuminoforlarni olish imkonini beradi.

Klassik tavsifni qo'llash mumkin bo'lgan elektron asboblarning elementlari o'rniga, ketma-ket kvant mexanik yondashuv zarur bo'lgan nanoelektronikaning element bazasi keladi. Kvant o'lehamli nanostrukturalar nafaqat nanoelektronika uchun, balki yangi avlod axborot tizimlarining asosi sifatida ham muhim ahamiyatga ega bo'lib, ular magnit sezgir detektorlarni yaratishda qo'llanilishi mumkin, ular asosida optoelektronikada o'ta kichik lazer manbalari yaratiladi.

Zamonaviy submikron texnologiyasi elektronlar harakati tekislikda joylashgan obyektlarni yaratish imkonini beradi. Bunday holat yarimo'tkazgichli geterostrukturalarda, metall-dielektrik o'tishida sodir bo'ladi. Geterostruktura qatlamlariga perpendikulyar ravishda yetarlicha yuqori kuchlanish berilganda elektronlar sirtga chiqadi va o'zini ikki o'lehamli elektron gaz kabi tutadi. Bundan tashqari, potensial elektronlarni tekislikning bir yo'nalishida cheklasa, elektronlar faqat bitta qolgan yo'nalishda erkin harakatlana oladi - bu bir o'lehovli gaz (kvant simlari). Agar elektronlarning har ikkala yo'nalishdagi harakati cheklansa, biz kvant nuqtasiga ega bo'lamiz.

1.1. Kvant nuqtalari - sun'iy atomlar

Kvant nuqtalari (KN) - bu boshqariladigan parametrlarga ega bo'lgan ulkan (atomlarga nisbatan) sun'iy atomlar. Zamonaviy texnologiyalar joylashuvi, lokalizatsiya sohasi, zaryad tashuvchilar soni, ushlab turuvchi potensial tikligi kabi nazorat qilinadigan parametrlar bilan ham alohida KT, ham KT massivlarini olish imkonini beradi.

Agar KT va "oddiy" atomlarni taqqoslasak, KT ularning xossalari magnit maydon yordamida boshqarish mumkinligi tufayli istiqbollidir. Oddiy atomlarning xossalari sezilarli darajada o'zgartirish uchun neytron yulduzlaridagi kabi maydonlar, kvant nuqtalari uchun esa Yerdagi laboratoriyalarda bimalol mavjud bo'lgan maydonlar kerak bo'ladi.

Kvant nuqtasining odatiy o'lchami bir necha o'n nanometr, ammo tashqi potensial tufayli elektronlar egallagan maydonning o'lchami ancha kichik bo'lishi mumkin. Bunday vaziyatda chegara tekisligida harakatni kvantlash muhim bo'lib qoladi, shuning uchun atomga o'xshash tuzilma hosil bo'ladi (diskret energiya sathlari bilan), ammo atom potentsiali rolini kvant nuqtasining sun'iy yaratilgan potentsiali bajaradi va elektronlar soni birdan bir necha yuzgacha nazorat ostida o'zgarishi mumkin.

1.2. Kvant nuqtalarining afzalliklari

Kvant nuqtalari asosidagi eritmalar an'anaviy organik va noorganik lyuminoforlardan aniq qayta sozlanadigan lyuminessensiya zarur bo'lgan amaliy qo'llanish sohalari uchun muhim bo'lgan bir qator parametrlar bo'yicha ustunlik qiladi.

- Fotobarqaror, bir necha yil davomida fluoressensiya xususiyatini saqlab qoladi.
- Fotobo'yalishga yuqori chidamlilik: organik fluoroforlarga qaraganda 100-1000 baravar yuqori.

- Yuqori fluoressensiya kvant chiqishi - 90% gacha.
- Qo'zg'atishning keng spektri: UB dan IQ gacha (400-200 nm).

- Yuqori fluoressensiya cho'qqilari (25-40 nm) tufayli rangning yuqori tozaligi.

- Kimyoviy degradatsiyaga yuqori chidamlilik.

Yana bir afzalligi, ayniqsa poligrafiya uchun, shundaki, kvant nuqtalari asosida zollar - mayda zarrachalar tarqalgan suyuq muhitli yuqori dispersli kolloid tizimlar tayyorlash mumkin. Demak, ulardan purkovchi bosma uchun yaroqli eritmalar ishlab chiqarish mumkin.

Kvant nuqtasining yana bir muhim xossasi KT ni o'z ichiga olgan yopiq zanjir orqali elektr toki o'tganda zaryadning diskretligi namoyon bo'lishi bilan bog'liq. Kvant nuqtaning o'lchamlari kamayganda unga birlik zaryadni ko'chirish uchun zarur bo'lgan energiya ortadi (KT sig'imining uning xarakterli o'lchamiga proporsional ravishda kamayishi natijasida). Bu ossillyatsiya hodisasini, ya'ni davri kvant nuqtasida birlik zaryadning ko'chishi bilan aniqlanadigan KT orqali oqib o'tishda tokning tebranishini keltirib chiqaradi, bu esa tokni alohida elektrongacha aniqlik bilan boshqarishga yo'l ochadi. Bugungi kunda bunday tadqiqotlar alohida yo'nalishni - monoelektronikani tashkil etadi.

2. Kvant nuqtasi qanday yasaladi? Kvant nuqtalarini ikki usulda olish mumkin: kolloid kimyoviy sintez va epitaksial texnologiyalar yordamida. Ikkala usul ham turli xil yarimo'tkazgich materiallar asosida KT olishda ham, turli xil geometriyaga ega bo'lgan KT olishda ham keng imkoniyatlar beradi. Har bir usulning afzalliklari - kolloid KTlarni kimyoviy sintez qilishning oddiyroq va epitaksial KTlarni o'stirishning yetarlicha murakkab va qimmat usullari - yarimo'tkazgich elektronikasining turli masalalarini hal qilishda qo'llaniladi. Hozirgi vaqtda galliy arsenidi (GaAs) yoki uning turli tarkibli qattiq eritmaları asosidagi kvant nuqtalari bo'lgan geteronanostrukturalar eng katta qiziqish uyg'otmoqda. Ushbu turdagi kvant-o'lchamli tuzilmalarning asosiy texnik qo'llanilishi hozirgi vaqtda yorug'lik chiqaradigan asboblarni, birinchi navbatda optik tolali aloqa liniyalari uchun lazerlarni ishlab chiqishda ko'rinadi. Yarimo'tkazgichlar asosidagi strukturalarni oraliq metallar bilan to'ldirish ham katta imkoniyatlar beradi. Odatda geteroparaning kamchiligi deb hisoblangan doimiy kristall panjaralarning farqi o'z-o'zidan tashkil topgan kvant nuqtalarni olish texnologiyasida juda qimmatli xususiyat bo'lib chiqdi. O'z-o'zini tashkil etish deganda tartibsizroq muhitdan tartibli makroskopik tuzilmalarning o'z-o'zidan paydo bo'lishi tushuniladi. O'z-o'zini tashkil etish

jarayonining asosida muvozanatsiz fizik tizimlarning termodinamik muvozanatga yaqinlashganda tizimning erkin energiyasi minimal bo'lgan holatga o'tish xususiyati yotadi. Agar A moddadan sirtga V moddaning yupqa bir jinsli qatlami cho'ktirilgan bo'lsa, termodinamik muvozanat qaror topganda V qatlamda atom strukturasi vujudga keladi va u shunday shaklga ega bo'ladi, bunda sistemaning erkin energiyasi minimal bo'ladi. O'z-o'zini tashkil etishning yo'nalishi va yakuniy natijasini belgilovchi omillar A va B materiallarning doimiy panjaralarining nomuvofiqligi bo'lib, bu tizimda elastik kuchlanishlarni keltirib chiqaradi va uning ichki energiyasini oshiradi, qatlam qalinligi va boshqalar. Bu parametrlarning bir xil qiymatlarida asosning tuzilishini takrorlaydigan bir jinsli V material qatlami hosil bo'lishi mumkin. Boshqa qiymatlarda, V materiali ma'lum o'lcham va shakldagi kuchlangan klasterlar massivini hosil qilishi yoki bitta katta klasterga to'planishi energiya jihatidan foydaliroq bo'lishi mumkin. Bug' fazasidan cho'ktirishda taglikdagi qatlam o'sishining dastlabki bosqichining uch turi kuzatilishi tajribada allaqachon aniqlangan:

1) qatlamli (ikki o'lchamli) o'sish. Agar V material taglikni ho'llasa va uning panjara doimiysi A materialning panjara doimiysidan kam farq qilsa, panjara doimiysi hosil bo'ladi;

2) qatlamning orolchali (uch o'lchamli) o'sishi. U yomon namlanishda sodir bo'ladi;

3) o'sishning oraliq mexanizmi, bunda dastlab V qatlamning qavatma-qavat o'sishi ro'y beradi, so'ngra bu o'sish orolchali o'sish bilan almashinadi. Bu mexanizm A va V panjaralarda ho'llanish va sezilarli nomuvofiqlik mavjud bo'lganda kuzatiladi.

Oxirgi mexanizm InGaAs/GaAs sistemasida o'z-o'zidan tashkillanuvchi kvant nuqtalarni olishda qo'llaniladi. Ushbu mexanizmni o'rganishning eng muhim natijasi GaAs matritsasida o'lchamlari bo'yicha bir xil, nuqsonsiz, kvant nuqtalari xususiyatlariga ega bo'lgan InGaAs nanoklasterlari massivini olish imkoniyati hisoblanadi.

Ko'pincha kvant nuqtalari massivlarini Stranskiy - Krastanov mexanizmi bo'yicha o'z-o'zidan muvofiqlashtirilgan o'sishdan foydalanishga asoslangan molekulyar-nurli epitaksiya yordamida olish qo'llaniladi. Lekin bunday protsessda hosil qilingan kvant nuqtalar ancha kuchlangan bo'lib chiqadi. Bu elektron holatlar spektrining sezilarli siljishiga va boshqaruvchi parametrlarning o'zgarishiga olib keladi. Kvant nuqtalarini hosil qilish shartlariga qarab, tutib turuvchi potensialni ifodalashning turli ko'rinishlaridan foydalanish mumkin. *Doiraviy kvant nuqta uchun potensialni quyidagi ko'rinishda ifodalash mumkin: $U(x,y) = (me/2) * (x^2+y^2)$. Bu uncha katta bo'lmagan kvant nuqtalari uchun yetarli darajada adekvatdir. Katta kvant nuqtalari uchun "qattiq devorlar" modeli mos keladi. Lekin u holda ham, bu holda ham atomdagi kabi diskret energetik spektr hosil bo'ladi.* 2.1. Kolloid kvant nuqtalar Kolloid KT yarimo'tkazgichli nanokristallar bo'lib, ko'pincha sferik (ba'zan elliptik yoki murakkabroq) shaklda bo'lib, organik molekulalardan tashkil topgan stabilizatorning monoqatlamini qoplaydi. 2.1.1. Kolloid kvant nuqtalarini olish usullari Hozirgi vaqtda kvant nuqtalarini olish uchun ko'plab turli xil kimyoviy va fizik-kimyoviy sintez usullari mavjud bo'lib, bunda alohida atomlar yoki ionlar klasterlar yoki nanozarrachalarga birlashtiriladi. Bugungi kunda kvant nuqtalarini olishning uchta usuli keng qo'llanilmoqda: elektron-nur epitaksiya usuli, mosgidrid gaz fazali epitaksiya, kolloid sintez usuli. Bunday usullar bilan olingan zarrachalar o'lchamlari, berilgan shakli va tuzilishi bo'yicha tor taqsimotga ega bo'lib, natijalar sintezdan

sintezgacha takrorlanadi.

Kolloid sintez usuli batafsilroq ko'rib chiqiladi, chunki u ham ilmiy, ham ishlab chiqarish nuqtayi nazaridan eng katta qiziqish uyg'otadi.

2.1.2. Molekulyar-nurli va mosgidridli gaz fazali epitaksiya usullari

O'lchamlari chegaralangan strukturalarni tayyorlashning samarali usullaridan biri molekulyar-nurli epitaksiyadir. U atom o'lchamlari darajasida qalinlikni nazorat qilish bilan monokristall qatlamlarni o'stirishning mukammal texnologiyasi bo'lib, mutlaqo yangi tuzilmalar va qurilmalarni yaratishga imkon beradi. Uning farqi atom yoki molekulalarning kondensatsiyalanish sharoitlarini yuqori darajada nazorat qilish va bu jarayonni katta aniqlik bilan boshqarish mumkinligidadir.

Yarimo'tkazgich taglikka boshqa yarimo'tkazgich qatlamlari yuqori aniqlikda purkaladi va qatlamlar o'sib borishi bilan atomlar klasterlarga to'plana boshlaydi, chunki taglikning kristall panjarasi parametri o'stirilayotgan kristall parametridan sezilarli darajada farq qilganda, bir xil taranglikdagi tekis sirtga qaraganda orolchalar hosil bo'lishi energiya jihatidan foydaliroqdir.

So'nggi yillarda kristall panjarasi parametrlari taglik panjarasi parametrlaridan farq qiladigan yarimo'tkazgichning monoqatlamli o'sishida past o'sish haroratlarida o'sish yuzasida deyarli bir xil o'lchamdagi orolchalarni olish mumkinligi aniqlandi. Piramida shaklidagi cho'ktirilgan yarimo'tkazgich orolchalari deyarli nuqsonlarga ega emas, ular kvant nuqtalaridir. O'z-o'zini tashkil etish jarayonida kvant nuqtalari hosil bo'lishining harakatlantiruvchi kuchi deformatsiya energiyasining kamayishi hisoblanadi.

Masalan, agar galliy arsenid asosda panjara parametrlari kattaroq bo'lgan indiy arsenid qatlami o'stirilsa, GaAs yuzasida InAs orolchalarining (kvant nuqtalarining) o'sishiga olib keladigan elastik kuchlanishlar paydo bo'ladi. Sirt o'lchamlari bir necha o'n angstrom bo'lgan InAs piramidallari bilan qoplangan. Bir jinsli zo'rliqqa sirtga nisbatan orolchalar hosil qilish foydaliroq ekan. Piramidaning o'sishi piramida uchidagi elastik kuchlanish to'la yo'qolguncha davom etadi.

Shu tufayli bajarilish aniqligi yuqori bo'lgan O'YUCH va optik asboblarni tayyorlash mumkin bo'ldi.

Ushbu usulning afzalligi bir xil o'lchamdagi qat'iy tartiblangan kvant nuqtalarini va hatto ularning gorizontall va vertikal massivlarini yaratish imkoniyati mavjudligidir. Biroq, bu usulning kamchiliklari ham mavjud: piramida shaklini sharsimon obyektlar modeli bilan tasvirlab bo'lmaydi, demak, ushbu tuzilmalarni yuqori aniqlik bilan atomga o'xshash deb hisoblash mumkin emas. Bundan tashqari, bunday usul juda murakkab va qimmatga tushadi.

Gaz fazali epitaksiya usulida kimyoviy reaksiya natijasida gaz fazasidan olingan kerakli modda kristall taglikka cho'ktiriladi.

Agar moddani bir necha monoqatlamga cho'ktirsak, u holda piramidalar - kvant nuqtalari qoplaydigan sirtni hosil qilish mumkin.

Ularning hosil bo'lish sababi molekulyar-nurli epitaksiya yordamida o'sish bilan bir xil - elastik deformatsiya energiyasining kamayishi hisobiga tizim energiyasining kamayishi.

2.1.3. Kolloid sintez usuli

Kolloid kvant nuqtalarni sintez qilish uchun nanokristallarning o'sishiga asoslangan kimyoviy usullar qo'llaniladi. Bu moddalarni "maydalash" (yuqoridan-

pastga) va nanokristallarni "o'qstirish" (pastdan-yuqoriga) ga asoslangan yondashuvlar bo'lishi mumkin.

Kvant nuqtalarini olishning an'anaviy usuli qutbsiz muhitlarda sintez qilish (yoki metalloorganik sintez) usuli hisoblanadi. Kolloid kvant nuqtalarni sintez qilish yo'li o'ta to'yingan eritmadan fazani kondensatsiyalash usuli bilan birinchi turdagi monodispers kolloid eritmalar - suspenzoidlar (ba'zan ularni qaytmas yoki liofob kolloidlar deb ham atashadi) hosil qilishdan iborat. Bunda kolloid zarrachalar o'ziga xos kristall tuzilishga va agregatsiyaga bo'lgan yuqori intilishga ega bo'ladi.

Kolloid usul don o'qstirish usullariga kiradi va eritmadagi kolloid zarrachalar konsentratsiyasini kuchli o'zgartirish imkonini beradi. Organik erituvchiga Mendeleyev jadvalining II va IV guruh elementlarining eritmaları kiritiladi, ular erituvchi molekulalariga cho'ktiriladi. Bunday reaksiyalarni o'tkazishda bir qator parametrlarga, masalan, rN darajasi va sistemadagi bir qator organik birikmalarning konsentratsiyasiga qat'iy rioya qilish kerak, chunki bu kolloiddagi zarrachalarning o'lchamlariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Nukleatsiya va vaqt bo'yicha o'sish bosqichlarini ajratish orqali texnologiya birinchi marta monodisperslik darajasi nisbatan yuqori va kvant chiqishi (9% dan ortiq) bo'lgan kolloid kvant nuqtalari eritmalarini sintez qilish imkonini berdi.

Ushbu usul bilan kvant nuqtalarini sintez qilish bir necha bosqichda amalga oshiriladi:

- 1) Nukleatsiya.
- 2) Murtaqlarning o'sishi.
- 3) Ostvaldning yetilish bosqichi.

Sintez jarayoni qanday sodir bo'lishini batafsilroq ko'rib chiqamiz.

2.1.3.1. Nukleatsiya bosqichi

Kuchli o'ta to'yingan eritmadan nukleatsiya va o'sish bosqichlarida kondensatsiyalanayotgan modda konsentratsiyasining o'zgarishi. Murtaq hosil bo'lishining klassik nazariyasiga ko'ra, nukleatsiya o'z-o'zidan sodir bo'ladi: o'ta to'yingan eritmaning ba'zi beqaror qismlarida erigan moddaning molekulalari yoki ionlari o'z-o'zidan kristallanib, murtaq hosil qilish qobiliyatiga ega.

2.1.3.2. Murtaqlarning o'sish bosqichi

Kristallarning o'sishi bilan bog'liq bo'lgan hodisalarni talqin qilishda kolloid nazariya kristallning shakli va uning barcha qirralarining sirt energiyasi o'rtasidagi bog'liqlikdan kelib chiqadi. Kristallar o'sishining diffuzion talqiniga ko'ra, kristall qirrasining hosil bo'lish jarayoni katta tezlikda sodir bo'ladi va faqat diffuziya tezligiga bog'liq. Jarayon diffuzion bo'lganligi sababli, uni boshqarishning asosiy parametri haroratdir.

2.1.3.3. Ostvaldning yetilish bosqichi

Zarrachalarning o'sishi tufayli reagentlar tugagach, Ostvaldning yetilish jarayoni boshlanadi, bunda yirik zarrachalar kichikroq zarrachalarning erishi hisobiga o'sishda davom etadi va tizimning sirt energiyasi kamayadi. Bunda fokussizlanish sodir bo'ladi. O'ta to'yinish darajasi kamayganda murtaqlarning kritik o'lchami ortadi va kritik o'lchamdan kichik zarrachalar erib ketadi. Agar reaksiya shu bosqichda tez to'xtatilsa, zarrachalar o'lchamlari bo'yicha keng taqsimlanadi. Ostvaldning yetilish bosqichida

monodispers zarrachalarni olish mumkin emas. O'ta to'yinish to'liq yo'qolganidan keyin qolgan zarrachalarning o'lchami mikrometrgacha yetishi mumkin, shuning uchun o'lchamlari bo'yicha yaxshi taqsimlangan nanokristallarni faqat portlovchi nukleatsiya va reaksiya tugagandan so'ng va Ostvaldning yetilishi boshlanishidan oldin tezda to'xtatish orqali olish mumkin. Portlovchi nukleatsiya uchun yuqori o'ta to'yinish darajasini yaratish kerak.

2.2. Epitaksial kvant nuqtalari

Epitaksial KT ikki bosqichda shakllanadi. Birinchisida nanokristallarning (ko'pincha piramida shaklidagi) geteroepitaksiyasida o'z-o'zini tashkil etuvchi ansamblning paydo bo'lishi va keyinchalik o'sishi sodir bo'ladi. Ikkinchidan, ularni kristall tuzilishining o'sishi sharoitida taglik materiali bilan to'ldirish. Natijada nanokristallar - kvant nuqtalari taglikning kristall matritsasiga joylashadi va elastik deformatsiyalar maydonida bo'ladi.

Eng ko'p ishlatiladigan yarimo'tkazgich materiallar: InAs (indiy arsenidi), InSb (indiy antimonidi), PbSe (qo'rg'oshin selenidi), PbS (qo'rg'oshin sulfidi), InP, ZnSe (indiy fosfidi - rux selenidi), ZnTe, CdS (rux telluridi - kadmiy sulfidi), CdSe (kadmiy selenidi), ZnS, HgTe (rux sulfidi - simob telluridi), HgSe (simob selenidi), ZnO (rux oksidi), TiO₂ (titan oksidi).

3. *Kvant nuqtalarini kompyuterda modellashtirish usullari*

Nanoobyektlarni kompyuterda modellashtirishning asosiy maqsadlaridan biri nanoobyektning tuzilishini qurish va vizuallashtirish, kvant nuqtalarida bog'lanish xarakterini tavsiflash, tizimning eng past potensial energiyasiga mos keladigan atomlarning joylashuvidan iborat. Kadmiy xalkogenidlari, xususan, kadmiy telluridi asosidagi kvant nuqtalari bir qator noyob xususiyatlarga egaligi va nanofotonika, fotovoltaika, nanobiologiya va nanomeditsinada qo'llanilishi mumkinligi bilan alohida qiziqish uyg'otadi. Kvant nuqtalarni turli tipdagi atomlar bilan to'ldirish yordamida ularning qo'llanish imkoniyatlarini ancha kengaytirish mumkin. So'nggi paytlarda tadqiqotchilarning e'tiborini magnit xususiyatlarga ega bo'lgan o'tish elementlari atomlari bilan to'ldirilgan kvant nuqtalari jalb qildi. Kvant nuqtalarining fundamental xarakteristikalarini tushunish yo'lidagi muhim qadam ularning lokal atom tuzilishi va elektron tuzilishi xususiyatlarining o'zaro bog'liqligini aniqlashdir. Shu maqsadda kichik o'lchamli zarrachalarning atom va elektron strukturalari haqida ma'lumot olishga imkon beradigan aniq metodikalarni qo'llash yaxshi natija beradi. Bugungi kunda nanoobyektlarning tuzilishi va xossalarini modellashtirish va hisoblashning ko'plab usullari ishlab chiqilgan. Ularni shartli ravishda uch guruhga ajratish mumkin: ab initio (boshlang'ich), yarim empirik usullar va empirik potenciallar. Ularning barchasi zaruriy boshlang'ich ma'lumotlar bilan farqlanadi.

4. Kvant nuqta. Tavsiflash usullari

Quyida fotolyuminessensiya, rentgen difraksiyasi, rentgen yutilish spektroskopiyasi kabi kvant nuqtalarini tavsiflashning ba'zi usullari ko'rib chiqilgan.

4.1. Fotolyuminessensiya

Qattiq jismda lyuminessensiya mexanizmi uning butun kristall elektronlar sistemasi ishtirokida ro'y berishiga yoki kirishma markazi ichida ro'y berishiga qarab turlicha bo'ladi. Valent zona bilan o'tkazuvchanlik zonasi orasidagi elektron o'tishlar tufayli vujudga keladigan zonalararo lyuminessensiyaning birinchi turiga kelsak, u

hozirdayoq yaxshi va batafsil o'rganilgan. Biroq, yorug'lik chiqaradigan nanokristallarning o'lchamlari kamayishi bilan zonalararo lyuminessensiyaning roli sezilarli darajada pasayadi - zonalar va kirishma atomlarining donor-akseptor sathlari o'rtasidagi elektron o'tishlar tufayli kirishma lyuminessensiyasi ustunlik qila boshlaydi.

Yarimo'tkazgichli kvant nuqtalari o'ziga xos optik kuchaytiruvchi muhit bo'lib, uning lyuminessensiya to'lqin uzunligi kvant nuqtasining o'lchamiga bog'liq. Bu kvant nuqtasining lyuminessensiya to'lqin uzunligini foton kristallining taqiqlangan zonasi holatiga moslash imkonini beradi. Shunday qilib, uch o'lchamli taqsimlangan teskari bog'lanishli lazer rezonatorini tashkil etish mumkin.

4.2. Rentgen difraksiyasi

Fazaviy tarkib, shuningdek, nanokristallarning o'rtacha o'lchami haqidagi ma'lumotlar rentgen difraksiyasi usuli bilan olinishi mumkin. Nanometr o'lchamdagi zarrachalar uchun difraktogrammadagi akslanish reflekslari kengayadi. Kengayish kattaligi Debay-Sherer formulasi bo'yicha nanokristallarning (aniqrog'i, kogerent sochilish sohalarining) o'rtacha o'lchami bilan bog'liq.

4.3. XANES rentgen yutilish spektroskopiyasi

Kondensirlangan holatdagi birikmalarning fizik-kimyoviy xossalari ularning elektron-energetik tuzilishi bilan belgilanadi, bu ko'p jihatdan o'rganilayotgan namunaning mahalliy tuzilishiga bog'liq. So'nggi paytlarda kichik kvant zarrachalarining nanoo'lchamli atom tuzilishining nozik tafsilotlarini o'rganish uchun eng yaqin sohada rentgen yutilish spektroskopiyasi (XANES-X-ray absorption near edge structure) muhim vositaga aylanmoqda.

XANES-spektroskopiya materiallardagi atomlarning o'rganilayotgan turi atrofidagi elektron tuzilishi va uch o'lchovli atom tuzilishi haqida yuqori aniqlik bilan ma'lumot olish imkonini beradi, shu jumladan atomlarning joylashuvida keyingi tartibsiz. XANES - spektroskopiya asosida bog'lanish uzunliklari 0,001 nm gacha aniqlikda, bog'lanish burchaklari esa bir necha gradusgacha aniqlikda aniqlanishi mumkin. Biroq, XANES - spektroskopiya bilvosita tadqiqot usulidir. Strukturaviy axborotni ajratish uchun strukturaviy modellar, shu jumladan superkompyuterlar va hisoblash klasterlaridan foydalangan holda spektrlarni hisoblash talab etiladi.

Rentgen nurlarining yutilish spektrlarini eksperimental qayd qilish uchun, odatda, apparaturalar kompleksi qo'llaniladi, ularning asosiy komponentlari nurlanish manbai, dispersiyalovchi element (kristall yoki difraksion panjara) va qayd qiluvchi qurilma hisoblanadi. Hozirgi vaqtda detektorlarning keng tarqalgan turlaridan biri yarimo'tkazgichli datchiklar, shu jumladan koordinat-sezgir detektorlar ko'rinishida qurilgan datchiklardir. Ular yuqori sezgirlikka ega bo'lib, kompyuter texnikasi bilan birgalikda qayd qilinayotgan rentgen spektrini bevosita tajriba davomida kuzatish imkonini beradi.

Qurilmaning ajrata olish qobiliyatiga yuqori talablar qo'yiladi, chunki kerakli strukturaviy ma'lumotni energiya holatining intensivlikka nisbatan ozgina o'zgarishidan olish mumkin.

Xulosa

Xulosa qilib shuni ta'kidlash kerakki, kolloid nanokristallar shaklidagi kvant nuqtalari nano-, biono- va biomednanotexnologiyalarning eng istiqbolli obyektlari

hisoblanadi. 1998-yilda kvant nuqtalarining fluoroforlar sifatidagi imkoniyatlari birinchi marta namoyish etilgandan so'ng, bir necha yil davomida nanokristallardan foydalanishga yangi original yondashuvlarni shakllantirish va ushbu noyob obyektlar ega bo'lgan potensial imkoniyatlarni amalga oshirish bilan bog'liq sukunat kuzatildi. Ammo so'nggi yillarda keskin o'sish kuzatilmoqda: g'oyalarning to'planishi va ularni amalga oshirish biologiya, tibbiyot, elektronika, quyosh energiyasidan foydalanish texnologiyasi va boshqa ko'plab sohalarda yarimo'tkazgichli nanokristall kvant nuqtalarini qo'llashga asoslangan yangi qurilmalar va vositalarni yaratish sohasida yutuqlarni belgilab berdi. Albatta, bu yo'lda hali yechilmagan muammolar ko'p, ammo qiziqishning ortishi, bu muammolar ustida ishlaydigan jamoalar sonining ko'payishi, bu yo'nalishga bag'ishlangan nashrlar sonining ko'payishi kvant nuqtalari keyingi avlod texnikasi va texnologiyasining asosi bo'lishiga umid qilishga imkon beradi.

MAVZUGA DOIR SAVOLLAR:

1. Kvant nuqtalar nima va ularni hosil qilishda qanday materiallardan foydalanilgan?
2. Kvant nuqtalari qanday noyob optik va elektron xossalarga ega?
3. Kvant nuqtasining o'lchami uning spektral xarakteristikalarini va bog'lanishlariga qanday ta'sir ko'rsatadi?
4. Turli muhitlarda kvant nuqtalarining barqarorligiga qanday omillar ta'sir qiladi?
5. Kolloid va epitaksial kvant nuqtalar orasida qanday prinsipial farqlar bor?
6. Kvant nuqtalari sirtini funksional holga keltirishda qanday usullardan foydalaniladi va nima maqsadda amalga oshiriladi?
7. Kvant nuqtalarini ishlab chiqarish va ulardan foydalanish bilan bog'liq qanday ekologik va toksikologik xavflar mavjud?
8. Elementar elementlarda kvant nuqtalardan foydalanishning istiqbollari qanday va ular prujinali materiallarga nisbatan qanday afzalliklarni hisobga olishi mumkin?
9. Kvant nuqtalarining tuzilishi va xossalarini o'rganishda qanday zamonaviy usullar qo'llaniladi?
10. Kvant nuqtayi nazarini turli sohalarda keng tijoriy qo'llash yo'lidagi asosiy yo'nalishlar nimalardan iborat?

4-mavzu: Statistik va klassik termodinamikada entropiya. (2 soat).

Reja:

- 4.1. Statistik va klassik termodinamikada entropiya
- 4.2. Zamonaviy molekulyar-kinetik nazariyalarni mono-, bi- va uch-molekulyar reaksiyalarda qo'llash.
- 4.3. O'tar holat nazariyasini termodinamik va statistik ifodalash.

Entropiya tushunchasi fizika va kimyoning eng muhim fundamental tushunchalaridan biri hisoblanadi. Bu kattalik sistemaning tartibsizlik darajasini, energiyaning tarqalish holatini va spontan jarayonlarning yo'nalishini belgilaydi. Entropiya klassik termodinamika va statistik mexanikada turli yondashuvlar asosida ta'riflanadi, ammo har ikkala yondashuv ham bir xil fizik voqelikning turli tomonlarini ochib beradi.

Zamonaviy kimyoviy kinetikada molekulyar-kinetik nazariyalar reaksiya mexanizmlarini tushunish va reaksiya tezliklarini hisoblash uchun keng qo'llaniladi. Bu nazariyalar monoolekulyar, bimolekulyar va trimolekulyar reaksiyalar uchun turli yondashuvlarni talab qiladi.

O'tar holat nazariyasi zamonaviy kimyoviy kinetikaning asosiy nazariyalaridan biri bo'lib, reaksiya jarayonida molekulalarning energetik o'zgarishlarini va reaksiya tezligini nazariy jihatdan tushuntiradi.

Klassik termodinamikada entropiya

Klassik termodinamikada entropiya Rudolf Clausius tomonidan 1865-yilda kiritilgan bo'lib, u sistemaning makroskopik xususiyatlari asosida aniqlanadi. Clausius entropiyani qaytariladigan jarayonlar uchun quyidagi formula bilan ifodaladi:

$$dS = \frac{\delta Q_{rev}}{T}$$

Bu yerda S entropiya, δQ_{rev} qaytariladigan jarayonda sistemaga beriladigan issiqlik miqdori, T esa absolyut haroratdir.

Klassik termodinamikada entropiya holat funksiyasi hisoblanadi, ya'ni uning qiymati faqat sistemaning boshlang'ich va oxirgi holatlariga bog'liq bo'lib, jarayonning o'tish yo'lga bog'liq emas. Bu xususiyat entropiyaning termodinamik potentsiallar qatoriga kirishiga imkon beradi.

Entropiyaning klassik ta'rifidan kelib chiqadigan muhim qonuniyatlar mavjud. Birinchidan, qaytariladigan jarayonlarda sistemaning umumiy entropiyasi o'zgarmaydi ($dS = 0$). Ikkinchidan, qaytarilmaydigan jarayonlarda sistemaning entropiyasi doimo ortadi ($dS > 0$). Bu termodinamikaning ikkinchi qonunining matematik ifodasi hisoblanadi.

Klassik termodinamikada entropiya makroskopik kattalik bo'lib, u sistemaning umumiy energetik holatini tavsiflaydi. Lekin bu yondashuv entropiyaning fizik ma'nosini to'liq ochib bermaydi va faqat fenomenologik tavsif beradi.

Statistik mexanikada entropiya

Statistik mexanikada entropiya Ludwig Boltzmann tomonidan molekulyar darajada tushuntirildi. Boltzmannning mashhur formulasi quyidagicha:

$$S = k_B \ln \Omega$$

Bu yerda k_B Boltzmann doimiysi ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K), Ω esa sistemaning mikroholatlar sonini (statistik og'irlikni) ifodalaydi.

Bu formula entropiyaning fizik ma'nosini ochib beradi: entropiya sistemadagi molekular tartibsizlikning o'lchovidir. Mikroholatlar soni qancha ko'p bo'lsa, sistem shuncha tartibsiz va entropiyasi shuncha yuqori bo'ladi.

Gibbs tomonidan umumlashtirilgan holda entropiya quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$S = -k_B \sum_i p_i \ln p_i$$

Bu yerda p_i i-mikroholatning ehtimoli hisoblanadi. Bu formula Shannon entropiyasi bilan chambarchas bog'liq bo'lib, axborot nazariyasida ham muhim ahamiyatga ega.

Statistik mexanikada entropiyaning additiv xususiyati muhim ahamiyatga ega. Bu xususiyatga ko'ra, alohida qismlardan tashkil topgan sistemaning umumiy entropiyasi qismlar entropiyalarining yig'indisiga teng:

$$S_{umumiy} = S_1 + S_2 + \dots + S_n$$

Bu xususiyat entropiyaning ekstensiv kattalik ekanligini ko'rsatadi.

Klassik va statistik yondashuvlar orasidagi bog'liqlik

Klassik termodinamika va statistik mexanikadagi entropiya ta'riflari bir xil fizik kattalikni turli nuqtai nazardan tavsiflaydiki. Klassik yondashuv makroskopik hodisalarni fenomenologik jihatdan tavsiflasa, statistik yondashuv bu hodisalarning mikroskopik asoslarini ochib beradi.

Ikki yondashuv o'rtasidagi bog'liqlik termodinamik ehtimollik orqali amalga oshadi. Makroskopik holatga mos keladigan mikroholatlar soni qancha ko'p bo'lsa, bu holat shuncha ehtimoliy hisoblanadi. Muvozanat holatida sistema eng ehtimoliy holatda, ya'ni entropiyasi maksimal bo'lgan holatda bo'ladi.

Statistik mexanika klassik termodinamikaning barcha qonunlarini mikroskopik nuqtai nazardan tushuntiradi. Masalan, termodinamikaning ikkinchi qonuni statistik mexanikada ehtimollar qonuni sifatida namoyon bo'ladi: sistema kamroq ehtimoliy holatdan ko'proq ehtimoliy holatga o'tishga moyil.

Monoolekulyar reaksiyalarda zamonaviy molekulyar-kinetik nazariyalar

Monoolekulyar reaksiyalar bitta molekulaning boshqa mahsulotlarga aylanish jarayonlari hisoblanadi. Bu reaksiyalarda asosiy masala molekulaning faollashtirish energiyasini qanday olishi va qanday yo'qotishidir.

Lindemann-Hinshelwood mexanizmi monoolekulyar reaksiyalar uchun asosiy nazariy model hisoblanadi. Bu mexanizmga ko'ra, reaksiya ikki bosqichda sodir bo'ladi:

Birinchi bosqich: $A + M \rightarrow A^* + M$ (faollashtirish)

Ikkinchi bosqich: $A^* \rightarrow \text{mahsulotlar}$ (parchalanish)

Bu yerda A dastlabki molekula, M har qanday molekula (shu jumladan A), A^* faollashgan molekula hisoblanadi.

Yuqori bosim sharoitida reaksiya tezligi birinci tartibli bo'lib, tezlik konstantasi faollashgan molekulalarning parchalanish tezligiga bog'liq bo'ladi. Past bosim sharoitida reaksiya ikkinchi tartibli bo'lib, tezlik faollashtirish jarayoniga bog'liq bo'ladi.

RRKM (Rice-Ramsperger-Kassel-Marcus) nazariyasi monoolekulyar reaksiyalar uchun zamonaviyraq yondashuv beradi. Bu nazariya molekula ichidagi energiya taqsimlanishini va faollashtirish jarayonining kinetikasini batafsil hisobga oladi. RRKM nazariyasida molekulaning har bir tebranish darajasi alohida ko'rib chiqiladi va energiyaning bu darajalar o'rtasida taqsimlanishi statistik usullar bilan hisoblanadi.

Kvant effektlari monoolekulyar reaksiyalarda muhim rol o'ynaydi. Molekulalarning tebranish energiyalari kvantlangan bo'lgani uchun, faollashtirish jarayoni ham kvant mexanikasi qonunlari asosida amalga oshadi. Bu ayniqsa past haroratlarda muhim ahamiyatga ega.

Bimolekulyar reaksiyalarda molekulyar-kinetik yondashuvlar

Bimolekulyar reaksiyalar ikki molekulaning to'qnashuvi natijasida sodir bo'ladigan jarayonlar hisoblanadi. Bu reaksiyalar uchun to'qnashuvlar nazariyasi va o'tar holat nazariyasi asosiy nazariy yondashuvlar hisoblanadi.

To'qnashuvlar nazariyasi bimolekulyar reaksiyalarning eng oddiy modeli bo'lib, reaksiya tezligini molekulalarning to'qnashuv chastotasi va faol to'qnashuvlarning ulushi orqali ifodalaydi:.

$$k = \sigma \sqrt{\frac{8k_B T}{\pi \mu}} N_A e^{-E_a/RT}$$

Bu yerda σ reaksiya kesimi, μ keltirilgan massa, E_a faollashtirish energiyasi hisoblanadi.

Zamonaviy bimolekulyar kinetikada potensial energiya sirtlari muhim rol o'ynaydi. Bu sirtlar reaksiya davomida molekulalarning o'zaro ta'sir energiyasining koordinatalarga bog'liqligini ko'rsatadi. Reaksiya yo'li potensial energiya sirtidagi eng kam energiyali yo'l bo'lib, bu yo'l bo'ylab o'tar holat aniqlanadi.

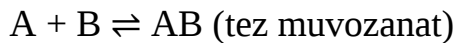
Molekulalar dinamikasi usullari bimolekulyar reaksiyalarni atom darajasida o'rganish imkonini beradi. Bu usullar yordamida alohida molekulalarning harakati va to'qnashuv jarayonlari batafsil tahlil qilinadi. Klassik va kvant molekular dinamika usullari reaksiya mexanizmlarini tushunishda muhim ahamiyatga ega.

Reaksiya ehtimoli energiya, burchak va fazoviy omillarga bog'liq. Molekulalarning nisbiy yo'nalishlari, tezliklari va ichki energiya holatlari reaksiya sodir bo'lish ehtimolini belgilaydi. Zamonaviy tajribalar va nazariy hisoblashlar bu omillarning har birining ta'sirini batafsil o'rganish imkonini beradi.

Trimolekulyar reaksiyalarda molekulyar kinetika

Trimolekulyar reaksiyalar uch molekulaning bir vaqtda to'qnashuvi natijasida sodir bo'ladi. Bu reaksiyalar nisbatan kam uchraydi, chunki uch molekulaning bir vaqtda to'qnashuv ehtimoli juda kichik.

Trimolekulyar reaksiyalar ko'pincha bosqichma-bosqich mexanizm bo'yicha sodir bo'ladi, ya'ni avval ikkita molekula o'zaro ta'sirlashib vaqtinchalik kompleks hosil qiladi, keyin bu kompleks uchinchi molekula bilan reaksiyaga kirishadi:



Bu holda reaksiya kinetikasi aslida bimolekulyar reaksiya kinetikasiga o'xshaydi, lekin reaksiya konstantasi uchinchi molekula kontsentratsiyasiga bog'liq bo'ladi.

Haqiqiy trimolekulyar reaksiyalar asosan gaz fazasida past bosimda kuzatiladi. Bu holda uch molekulaning bir vaqtda to'qnashuvi statistik jihatdan muhim bo'ladi. Bunday reaksiyalarda energiya va impuls saqlanish qonunlari uchta molekula o'rtasida bajarilishi kerak.

Trimolekulyar reaksiyalarda bosim ta'siri alohida ahamiyatga ega. Bosim oshishi bilan molekulalar o'rtasidagi to'qnashuvlar chastotasi ortadi va trimolekulyar reaksiyalar ehtimoli ham ortadi. Lekin juda yuqori bosimlarda molekulalar o'rtasidagi kuchlar murakkablashadi va oddiy kinetik tenglamalar qo'llanilmaydi.

O'tar holat nazariyasining termodinamik asoslari

O'tar holat nazariyasi Eyring, Evans va Polanyi tomonidan ishlab chiqilgan bo'lib, kimyoviy reaksiyalarning tezligini termodinamik printsiplar asosida tushuntiradi. Bu nazariyaga ko'ra, reaksiya davomida dastlabki moddalar va mahsulotlar o'rtasida o'tar holat (faollashgan kompleks) hosil bo'ladi.

O'tar holatning termodinamik tavsiflari reaksiya tezligini aniqlashda asosiy rol o'ynaydi. O'tar holatning hosil bo'lish energiyasi faollashtirish energiyasiga teng, entropiyasi esa reaksiya tezligi konstantasining haroratga bog'liqligini belgilaydi.

Eyring tenglamasi o'tar holat nazariyasining asosiy tenglamasi hisoblanadi:

$$k = \frac{k_B T}{h} e^{-\Delta G^\ddagger / RT}$$

Bu yerda $\Delta G^\ddagger$ o'tar holatning Gibbs energiyasi, h Plank doimiysi hisoblanadi.

O'tar holatning termodinamik parametrlari quyidagicha ifodalanadi:

$$\Delta G^\ddagger = \Delta H^\ddagger - T \Delta S^\ddagger$$

Bu yerda $\Delta H^\ddagger$ o'tar holatning entalpiyasi, $\Delta S^\ddagger$ esa entropiyasi hisoblanadi.

Entalpiya atamasi reaksiyaning energetik to'sig'ini, entropiya atamasi esa o'tar holatning tartibsizlik darajasini ifodalaydi. Ijobiy entropiya o'zgarishi reaksiya tezligini oshiradi, chunki u o'tar holatning ko'proq mikroholatlarga ega ekanligini ko'rsatadi.

O'tar holat nazariyasining statistik asoslari

O'tar holat nazariyasining statistik asoslari molekular darajadagi jarayonlarni tushunishga imkon beradi. Bu yondashuvda o'tar holat statistik mexanika printsiplari asosida tavsiflanadi.

O'tar holatning holatlar yig'indisi (partition function) uning barcha energetik holatlarini hisobga oladi:

$$q^\ddagger = \sum_i e^{-E_i^\ddagger / k_B T}$$

Bu yerda $E_i^\ddagger$ o'tar holatning i -energetik darajasi hisoblanadi.

Reaksiya tezligi konstantasining statistik ifodasi quyidagicha:

$$k = \frac{k_B T}{h} \frac{q^\ddagger}{q_A q_B}$$

Bu yerda q_A va q_B dastlabki moddalarning holatlar yig'indilari hisoblanadi.

O'tar holatning tebranish, aylanish va translatsion hissalar alohida hisobga olinadi. Tebranish harakatlari o'tar holatning energetik xususiyatlarini, aylanish harakatlari fazoviy yo'nalishlarni, translatsion harakatlar esa molekulalarning fazodagi harakatini tavsiflaydi.

Kvant effektlari o'tar holat nazariyasida muhim rol o'ynaydi. Ayniqsa tunnellash effekti og'ir atomlarning harakatida muhim bo'lib, klassik mexanikada kutilganidan tez reaksiyalarga olib keladi.

O'tar holat nazariyasining qo'llanish sohalari

O'tar holat nazariyasi kimyoviy kinetikaning eng universal nazariyalaridan biri bo'lib, turli xil reaksiyalar uchun qo'llaniladi. Gaz fazasi reaksiyalarida bu nazariya to'qnashuvlar nazariyasini to'ldiradi va reaksiya ehtimolini aniq hisoblash imkonini beradi.

Eritma fazasidagi reaksiyalarda o'tar holat nazariyasi erituvchi muhitning ta'sirini hisobga oladi. Erituvchi molekulalari o'tar holatni stabillashtirishi yoki beqarorlashtirishi mumkin, bu reaksiya tezligiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi.

Fermentativ reaksiyalarda o'tar holat nazariyasi fermentning katalitik faoliyatini tushuntirishda qo'llaniladi. Ferment substrat bilan bog'lanib, reaksiyaning faollashtirish energiyasini kamaytiradi va o'tar holatni barqarorlastiradi.

Elektrodli reaksiyalarda o'tar holat nazariyasi Marcus nazariyasi bilan birgalikda ishlatiladi. Bu holda elektron o'tkazish jarayonlari o'tar holat hosil qilish orqali amalga oshadi va reaksiya tezligi elektrodlar o'rtasidagi potentsiallar farqiga bog'liq bo'ladi.

Zamonaviy qo'llanishlar va rivojlanishlar

Hozirgi vaqtda o'tar holat nazariyasi kvant kimyosi hisoblashlari bilan birgalikda ishlatiladi. Zamonaviy hisoblash usullari o'tar holatlarning geometriyasini va energiyasini yuqori aniqlik bilan hisoblash imkonini beradi.

Molekular dinamika simulyatsiyalari o'tar holatning hayot vaqtini va uning xususiyatlarini o'rganishda qo'llaniladi. Bu usullar reaksiya yo'lini batafsil kuzatish va turli omillarning ta'sirini baholash imkonini beradi.

Nanokatalizatorlar va hetrogen kataliz sohasida o'tar holat nazariyasi katalitik faollik va selektivlikni tushuntirishda muhim ahamiyatga ega. Katalitik sirtlardagi o'tar holatlar va ularning energetik xususiyatlari katalitik jarayonlarni optimallashtirish uchun o'rganiladi.

Fotokimyoviy reaksiyalarda o'tar holat nazariyasi yorug'lik yutilishi natijasida hosil bo'lgan uyg'ongan holatlarning reaksiyaga kirishishini tavsiflaydi. Bu soha quyosh energiyasini kimyoviy energiyaga aylantirish texnologiyalari uchun muhim ahamiyatga ega.

Entropiya tushunchasi klassik termodinamika va statistik mexanikada turli yondashuvlar bilan ta'riflanadi, lekin har ikkala yondashuv ham sistemaning tartibsizlik darajasini va energiya taqsimlanishini ifodalaydi. Klassik yondashuv makroskopik hodisalarni fenomenologik jihatdan tavsiflasi, statistik yondashuv bu hodisalarning molekular asoslarini ochib beradi.

Zamonaviy molekulyar-kinetik nazariyalar mono-, bi- va trimolekulyar reaksiyalar uchun turli yondashuvlarni talab qiladi. Monoolekulyar reaksiyalarda Lindemann-Hinshelwood mexanizmi va RRKM nazariyasi, bimolekulyar reaksiyalarda

to'qnashuvlar nazariyasi va potensial energiya sirlari, trimolekulyar reaksiyalarda esa bosqichma-bosqich mexanizmlar muhim ahamiyatga ega.

O'tar holat nazariyasi kimyoviy reaksiyalarning universal tavsifi bo'lib, termodinamik va statistik yondashuvlarni birlashtiradi. Bu nazariya reaksiya tezligini molekular darajada tushuntiradi va turli xil reaksiya sharoitlari uchun qo'llanila oladi. Zamonaviy hisoblash usullari va tajriba usullari bu nazariyaning aniqligini oshirdi va uni yangi sohalarga tatbiq etish imkonini berdi.

Bu nazariyalarning birgalikdagi qo'llanishi kimyoviy jarayonlarni chuqur tushunish va yangi katalitik sistemalar ishlab chiqish uchun mustahkam nazariy asos yaratadi.

MAVZUGA DOIR SAVOLLAR:

1. Klassik termodinamikada entropiya qanday ta'riflanadi va uning Clausius formulasi nimani ifodalaydi?
2. Statistik mexanikada entropiyaning additiv xususiyati nimani anglatadi?
3. Monoolekulyar reaksiyalarda Lindemann-Hinshelwood mexanizmi qanday ishlaydi?
4. RRKM nazariyasi monoolekulyar reaksiyalar uchun qanday yangilik kiritadi va bu nazariyada molekula ichidagi energiya taqsimlanishi qanday hisobga olinadi?
5. Reaksiya kesimi σ nimani ifodalaydi?
6. Bosqichma-bosqich mexanizm qanday amalga oshadi?
7. O'tar holat nazariyasining asosiy g'oyasi nima va Eyring tenglamasi $k = (k_B T/h) e^{(-\Delta G^\ddagger/RT)}$ ning har bir qismi nimani ifodalaydi?
8. O'tar holatning termodinamik parametrlari ($\Delta H^\ddagger$ va $\Delta S^\ddagger$) reaksiya tezligiga qanday ta'sir qiladi?
9. O'tar holat nazariyasining statistik asoslarida holatlar yig'indisi (partition function) qanday rol o'ynaydi va u bilan reaksiya tezligi konstantasi qanday bog'langan?
10. Zamonaviy kimyoda o'tar holat nazariyasi qanday sohalarda qo'llaniladi va kvant kimyosi hisoblashlari bilan birgalikda ishlatilganda qanday yangi imkoniyatlar beradi?

IV. AMALIY MASHG'ULOTLAR MAZMUNI

1-amaliy mashg'ulot: Fizikaviy kimyoning dolzarb mavzularga bag'ishlangan yangi zamonaviy ilmiy yo'nalishlari. (2 soat)

Izotermik jarayon ($T=\text{const}$)

Ideal gaz uchun $dU=0$, shuning uchun $\delta Q=\delta W$, ya'ni berilgan barcha issiqlik miqdori tenglama bilan aniqlanadigan ishga aylanadi.

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

Bu holatda $p = \frac{nRT}{V}$, topamiz

$$W = \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

1. Izoxorik jarayon ($V=\text{const}$)

Bunday jarayonda $\delta W=p dV=0$, u holda

$$\delta Q_V = dU$$

$$Q_V = \Delta U = U_2 - U_1$$

Bu izoxorik protsessda sistemaga berilgan issiqlikning hammasi faqat uning ichki energiyasini orttirishga sarflanishini bildiradi.

Bundan o'zgarmas hajm C_V da issiqlik sig'imi ifodasi kelib chiqadi. $\delta Q_V = dU$ tenglamasi va issiqlik sig'imining ta'rifiga ko'ra:

$$C_V = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \left(\frac{\delta Q_V}{\Delta T} \right) = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V$$

O'zgarmas hajmdagi issiqlik sig'imi ichki energiyaning ortishini xarakterlaydi.

Ideal gaz uchun $\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T = 0$, va shuning uchun C_V uchun ifodada xususiy hosilani

to'liq hosila bilan almashtirish mumkin, ya'ni. $C_V = \frac{dU}{dT}$.

T_1 haroratdan T_2 haroratgacha qizdirilganda jismning ichki energiyasining ortishi integralning qiymati bilan aniqlanadi:

$$U_2 - U_1 = \int_{T_1}^{T_2} C_V dT.$$

Integralning son qiymatini topish uchun C_V ning T ga bog'liqlik ko'rinishini bilish kerak..

1. 1. Izobarik jarayon ($p=\text{const}$)

Bu jarayonda ish nolga teng emas:

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV = p(V_2 - V_1)$$

$p=\text{const}$ sharti bu kattalikni differensial belgisi ostiga kiritish imkonini beradi.

$$\delta Q_p = dU + d(pV) = d(U + pV)$$

Shunday qilib, o'zgarmas bosimda sistemaga berilgan issiqlik biror $H=U+pV$ funksiyaning orttirmasiga sarf bo'ladi, bu orttirma entalpiya (yoki issiqlik miqdori) deyiladi.

Entalpiya ham ichki energiya kabi holat funksiyasidir. Uning o'zgarishi jarayonning borishiga bog'liq emas, chunki p va V ning o'zgarishi faqat boshlang'ich va oxirgi holat bilan aniqlanadi.

Shunday qilib:

$$\delta Q_p = dH$$

$$Q_p = \Delta H = H_2 - H_1$$

Entalpiyaning o'zgarishi izobarik jarayonda sistemaga beriladigan issiqlik miqdorini tavsiflaydi. Shu asosda o'zgarmas bosimdagi issiqlik sig'imini quyidagi tenglama bilan aniqlash mumkin:

$$C_p = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \left(\frac{\delta Q_p}{\Delta T} \right) = \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_p$$

Ideal gaz uchun entalpiya kattaligi ham bosimga bog'liq bo'lmay, faqat temperaturaga bog'liq bo'ladi, chunki berilgan temperaturada pV o'zgarmasdir. Shunday qilib, ekanligini hisobga olib, topamiz

$$C_p = \frac{dH}{dT} = \frac{d(U + pV)}{dT} = \frac{dU}{dT} + \frac{pdV}{dT} = \frac{dU}{dT} + R,$$

bundan kelib chiqadiki

$$C_p - C_v = R$$

ya'ni bir mol ideal gazning o'zgarmas bosimdagi issiqlik sig'imi o'zgarmas hajmdagi issiqlik sig'imidan R miqdorga katta.

1-misol.

Agar kremniyning erish harorati 1690 K, erish issiqligi 50,21 kJ/mol bo'lsa, 100 g kremniyni 25 C dan 2000 C gacha qizdirish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdorini hisoblang.

$$C_{p(TB)} = 23,698 + 3,305 \cdot 10^{-3} T \text{ Дж/моль} \cdot \text{K}, \quad C_{p(ж)} = 27,2 \text{ Дж/моль} \cdot \text{K}.$$

Kremniyni qizdirish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdori qattiq kremniyni 25°S (298 K) dan 1690°S gacha qizdirish uchun zarur bo'lgan issiqlikdan, erish issiqligidan va suyuq kremniyni 2000°S (2273 K) gacha qizdirish uchun zarur bo'lgan issiqlikdan iborat bo'ladi.

$$Q = \int_{298}^{1690} C_{p(TB)} dT + q_{\text{erish}} + \int_{1690}^{2273} C_{p(ж)} dT$$

$$Q_1 = \int_{298}^{1690} (23,698 + 3,305 \cdot 10^{-3} T) dT = 23,698 \cdot (1690 - 298) + \frac{3,305 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot (1690^2 - 298^2) = 37561 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$$

$$Q_2 = 50210 \text{ j/mol}$$

$$Q_3 = \int_{1690}^{2273} 27,2 dT = 27,2 \cdot (2273 - 1690) = 15857,6 \text{ j/mol}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 37561 + 50210 + 15857,6 = 103628,6 \text{ j/mol}$$

Biz 1 mol Si ni qizdirish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdorini oldik. 100 g kremniy tarkibidagi mollar soni:

$$n_{\text{Si}} = \frac{m_{\text{Si}}}{A_{\text{Si}}} = \frac{100}{28} = 3,57 \text{ mol}$$

Shunday qilib

$$Q = 103628,6 \cdot 3,57 = 369954 \text{ j}$$

2-misol.

Standart termodinamik kattaliklar jadvalidan foydalanib, 500 K temperaturada

2H₂ (gaz) + CO (gaz) = CH₃OH (gaz) reaksiya entalpiyasining o'zgarishini hisoblang.

	H ₂	CO	CH ₃ OH
$\Delta H^{\circ}_{298},$ кДж/моль	0	-110,5	-201,2
a	27,28	28,41	15,28
b·10 ³	3,26	4,10	105,2
c'·10 ⁻⁵	0,502	-0,46	-
c·10 ⁶	-	-	-31,04

Standart sharoitdagi reaksiyaning issiqlik effekti:

$$\Delta H^{\circ}_{298(p-ции)} = (-201,2) - (-110,5) = -90,7 \text{ кДж} = -90700 \text{ Дж}$$

$$\Delta a = 15,28 - 28,41 - 2 \cdot 27,28 = -67,69$$

$$\Delta b = 105,2 - 4,10 - 2 \cdot 3,26 = 94,58$$

$$\Delta c' = 0,46 - 2 \cdot 0,502 = -0,544$$

$$\Delta c = -31,04$$

$$\Delta C_p = -67,69 + 94,58 \cdot 10^{-3} \cdot T - 0,544 \cdot 10^5 T^{-2} - 31,04 \cdot 10^{-6} T^2$$

$$\Delta H^{\circ}_{500} = \Delta H^{\circ}_{298} + \int_{298}^{500} (-67,69 + 94,58 \cdot 10^{-3} T - 0,544 \cdot 10^5 T^{-2} - 31,04 \cdot 10^{-6} T^2) dT$$

$$\Delta H^{\circ}_{500} = -90700 - 67,69 \cdot (500 - 298) + \frac{94,58 \cdot 10^{-3}}{2} (500^2 - 298^2) + 0,544 \cdot 10^5 \left(\frac{1}{500} - \frac{1}{298} \right) -$$

$$- \frac{31,04 \cdot 10^{-6}}{3} (500^3 - 298^3) = -97844 \text{ Дж}$$

3-misol.

1 mol azot 25 °C va noma'lum hajmdan 200 °C va V₂=50 l ga o'tganda entropiyaning o'zgarishini toping.

Bu masalani ikki usul bilan yechish mumkin. Bosim doimiy degan shartdan foydalanish mumkin, lekin u holda hajm nima uchun berilgan, degan savol tug'iladi.

Masalani ikkiga ajratib yechish mumkin: avval izoxorik qizdirish, so'ngra izotermik kengayish qaraladi.

Ikki usul bilan yechamiz va natija bir xil bo'lishiga ishonch hosil qilamiz.

$$1\text{-usul. } p = \text{const. } \Delta S = n C_p \ln \frac{T_2}{T_1} = \frac{7}{2} R \ln \frac{473}{298} = \frac{7}{2} \cdot 8,31 \cdot \ln \frac{473}{298} = 13,44 \text{ Дж/К}$$

Azot ikki atomli gaz, shuning uchun C_v=5/2R, a C_p=C_v+R=7/2R

2-usul.

1. Izoxorik qizdirish

$$\Delta S_1 = n C_v \ln \frac{T_2}{T_1} = \frac{5}{2} R \ln \frac{473}{298} = \frac{5}{2} \cdot 8,31 \cdot \ln \frac{473}{298} = 9,6 \text{ Дж/К}$$

2. Izotermik kengayishni tekshirishdan oldin noma'lum birinchi hajmni topish kerak. Buni bosim o'zgarmas degan shartdan va Mendeleev-Klayperon tenglamasidan foydalanib bajarish mumkin.

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{50}{V_1} = \frac{473}{298} \Rightarrow V_1 = 31,5 \text{ л.}$$

$$\Delta S_2 = n R \ln \frac{V_2}{V_1} = 8,31 \cdot \ln \frac{50}{31,5} = 3,84 \text{ Дж/К}$$

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = 9,6 + 3,84 = 13,44 \text{ Дж/К}$$

Yechimdan ko‘rinib turibdiki, ikkala usulda ham bir xil natija olingan. Bu mumkin, chunki entropiya holat funksiyasidir.

4-misol.

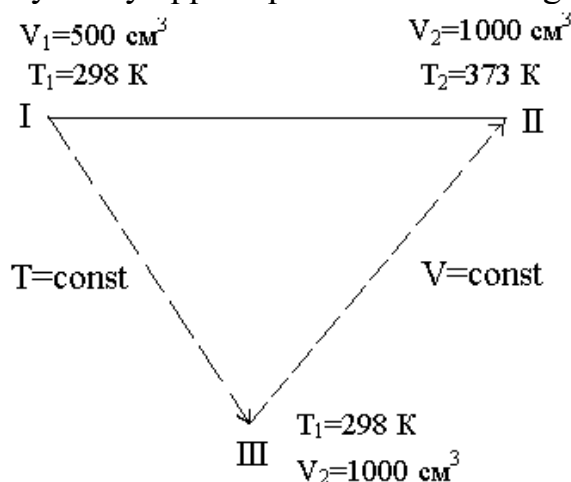
Hajmi 500 sm³ bo‘lgan idishdagi argon 25 °C va boshlang‘ich bosimi 1 atm bo‘lganda 1000 sm³ gacha kengayganda va bir vaqtning o‘zida 100 °C gacha qizdirilganda sodir bo‘ladigan entropiya o‘zgarishini hisoblang.

Masala oldingisiga o‘xshash, lekin shartdan ko‘rinib turibdiki, doimiy parametr yo‘q. Temperatura ham, bosim ham, hajm ham o‘zgaradi. U holda masalani ikkinchi usul bilan yechamiz, ya’ni avval izotermik kengayishni, so‘ngra izoxorik qizdirishni, mumkin bo‘lsa izotermik kengayish va izobarik qizdirishni hisoblaymiz, natija bir xil bo‘ladi.

Dastlab argonning mollar sonini topamiz, buning uchun bizga 1 atm bosim berilgan. Mendeleev-Klayperon tenglamasidan foydalanamiz.

$$n = \frac{p_1 V_1}{RT_1} = \frac{1 \cdot 0,5}{0,082 \cdot 298} = 0,02 \text{ mol}$$

Jarayonni yaqqolroq ko‘rsatish uchun grafik tarzda tasvirlaymiz.



$$1. \Delta S_{I-III} = nR \ln \frac{V_2}{V_1} = 0,02 \cdot 8,31 \cdot \ln \frac{1000}{500} = 0,115 \text{ Дж/К}$$

$$2. \Delta S_{III-II} = nC_V \ln \frac{T_2}{T_1} = 0,02 \cdot \frac{3}{2} \cdot 8,31 \cdot \ln \frac{373}{298} = 0,056 \text{ Дж/К}$$

Argon bir atomli gaz bo‘lgani uchun qabul qilamiz. $C_V = 3/2R$.

$$3. \Delta S_{I-II} = \Delta S_{I-III} + \Delta S_{III-II} = 0,115 + 0,056 = 0,171 \text{ Дж/К}$$

5-misol.

Agar 20 g indiy 25°C dan 500°C gacha qizdirilganda, indiy haroratda suyuqlansa, entropiya o‘zgarishini hisoblang. 430 K va $\Delta H_{\text{m}} = 3,283 \text{ kJ/mol}$.

$$C_{p(\text{TB})} = 18,297 + 24,172 \cdot 10^{-3} T$$

$$C_{p(\text{ж})} = 27,456 + 1,092 \cdot 10^{-3} T$$

Indiy 25°S dan 500°S gacha qizdirilganda entropiyaning o‘zgarishi uch qismdan iborat bo‘ladi.

1. Qattiq jismni qizdirishda entropiyaning o‘zgarishi 25°C (298 K) gacha $T_{\text{m}} = 430 \text{ K}$.

$$A_{\text{In}} = 115 \text{ g/mol}$$

Indiy mollari soni: $n = \frac{20}{115} = 0,17 \text{ mol}$

$$\Delta S_1 = n \cdot \int_{298}^{430} C_{p(\text{TB})} \frac{dT}{T} = 0,17 \cdot \int_{298}^{430} (18,297 + 24,172 \cdot 10^{-3} T) \frac{dT}{T} =$$

$$= 0,17 \cdot \left(18,297 \cdot \ln \frac{430}{298} + 24,172 \cdot 10^{-3} (430 - 298) \right) = 1,68 \text{ Дж/К}$$

2. Erishda entropiyaning o'zgarishi:

$$\Delta S_2 = n \cdot \frac{\Delta H_{\text{m}}}{T_{\text{m}}} = 0,17 \cdot \frac{3283}{430} = 1,3 \text{ Дж/К}$$

3. Suyuqlik qizdirilganda entropiyaning o'zgarishi In dan $T_{\text{m}} = 430 \text{ K}$ gacha 500°C (773 K).

$$\Delta S_3 = n \cdot \int_{430}^{773} C_{p(\text{ж})} \frac{dT}{T} = 0,17 \cdot \int_{430}^{773} (27,456 + 1,092 \cdot 10^{-3} T) \frac{dT}{T} =$$

$$= 0,17 \cdot \left(27,456 \cdot \ln \frac{773}{430} + 1,092 \cdot 10^{-3} (773 - 430) \right) = 2,8 \text{ Дж/К}$$

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 = 1,68 + 1,3 + 2,8 = 5,78 \text{ Дж/К}$$

5-misol.

2H_2 (gaz) + CO (gaz) = CH_3OH (gaz) reaksiyada 500 K temperaturada entropiyaning o'zgarishini standart termodinamik kattaliklar jadvalidan foydalanib hisoblang.

	H_2	CO	CH_3OH
$S^\circ_{298}, \text{ Дж/моль}\cdot\text{К}$	130,6	197,4	239,7
a	27,28	28,41	15,28
$b \cdot 10^3$	3,26	4,10	105,2
$c' \cdot 10^{-5}$	0,502	-0,46	-
$c \cdot 10^6$	-	-	-31,04

Standart sharoitda reaksiya entropiyasining o'zgarishi:

$$\Delta S^\circ_{298} = S^\circ_{\text{CH}_3\text{OH}} - S^\circ_{\text{CO}} - 2S^\circ_{\text{H}_2} = 239,7 - 197,4 - 2 \cdot 130,6 = -218,9 \text{ Дж/К}$$

$$\Delta a = 15,28 - 28,41 - 2 \cdot 27,28 = -67,69$$

$$\Delta b = 105,2 - 4,10 - 2 \cdot 3,26 = 94,58$$

$$\Delta c' = 0,46 - 2 \cdot 0,502 = -0,544$$

$$\Delta c = -31,04$$

$$\Delta C_p = -67,69 + 94,58 \cdot 10^{-3} T - 0,544 \cdot 10^5 T^{-2} - 31,04 \cdot 10^{-6} T^2$$

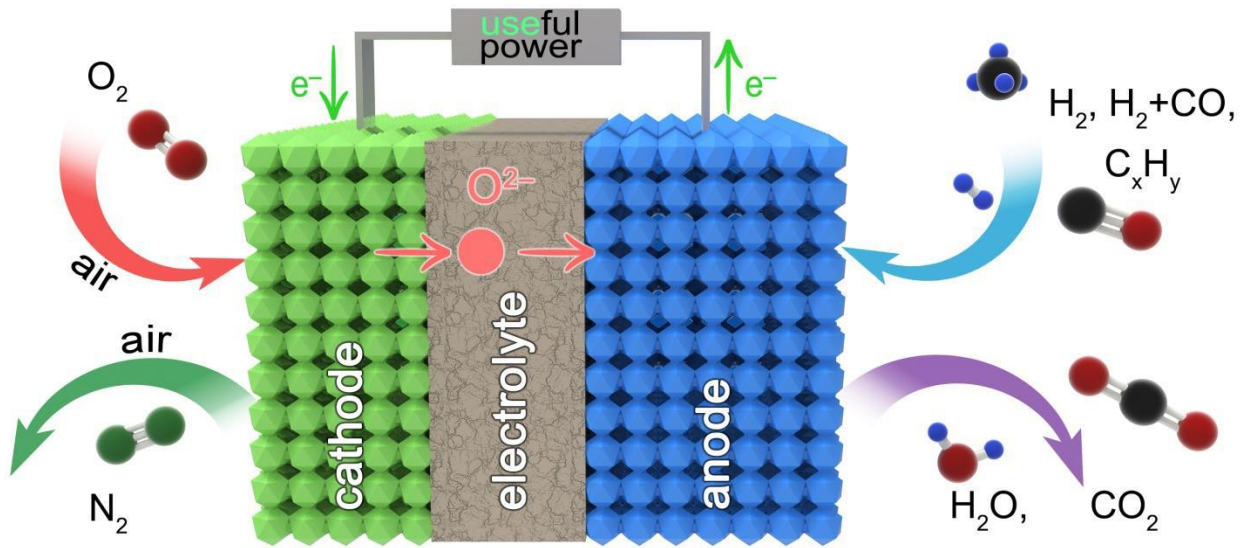
$$\Delta S^\circ_{500} = \Delta S^\circ_{298} + \int_{298}^{500} \left(-67,69 + 94,58 \cdot 10^{-3} T - 0,544 \cdot 10^5 T^{-2} - 31,04 \cdot 10^{-6} T^2 \right) \frac{dT}{T}$$

$$\Delta S^\circ_{500} = -218,9 - 67,69 \cdot \ln \frac{500}{298} + 94,58 \cdot 10^{-3} (500 - 298) + \frac{0,544 \cdot 10^5}{2} \left(\frac{1}{500^2} - \frac{1}{298^2} \right) -$$

$$- \frac{31,04 \cdot 10^{-6}}{2} (500^2 - 298^2) = -237,52 \text{ Дж/К}$$

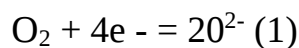
2- amaliy mashg'ulot: Qo'rg'oshin saqlamagan qo'sh perovskitlar asosida ekologik toza quyosh elementlarining sintezi va optik xossalari. (2 soat)

TOTE sohasidagi keng ko'lamli tadqiqotlar, birinchi navbatda, ushbu qurilmalar keng harorat oralig'ida elektr energiyasini ishlab chiqarishi, suyuq fazalarni o'z ichiga olmasligi, qimmatbaho metallarning mavjudligini talab qilmasligi, shuningdek, turli xil yoqilg'ilardan foydalanish imkonini berishi bilan bog'liq. Yoqilg'i elementining an'anaviy birlik yacheykasi ikkita elektrod - anod va katod o'rtasida joylashgan qattiq kislorod-ionli o'tkazgich - elektrolitdan iborat tizimdir (1-rasm). Elektrolit sifatida proton o'tkazuvchi materiallar ham bo'lishi mumkin, lekin bu ishda bunday birikmalar ko'rib chiqilmaydi.

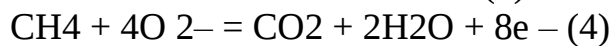
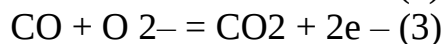
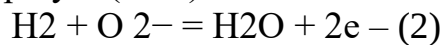


1-rasm - TOTening soddalashtirilgan ishlash sxemasi

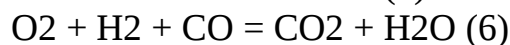
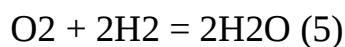
TOTE ishlaganda katod kislorodning qaytarilish reaksiyasi (1-tenglama) ning borishini ta'minlaydi, shuningdek, O^{2-} ionlarini elektrolit bilan kontakt joyiga yetkazadi.



Gaz-zich elektrolitning vazifasi hosil bo'lgan kislorod ionlarini elektrokimyoviy usulda katoddan anodga o'tkazishdan iborat bo'lib, u yerda ular 2-4 reaksiyalarga muvofiq yoqilg'ini oksidlaydi va elektronlar hosil qiladi, ular tashqi zanjirga katodga yo'nalgan holda kirib, potensial elektr ta'minoti manbai bo'lib xizmat qiladi. Shuni ta'kidlash kerakki, elektrolit yacheyka ichidagi anoddan katodga elektronlar oqimini to'sib qo'yishi kerak, ya'ni unipolyar (ionli) o'tkazuvchanlikni namoyon qilishi kerak.

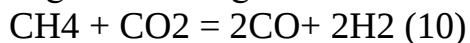
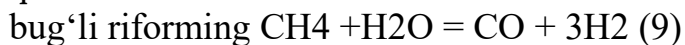
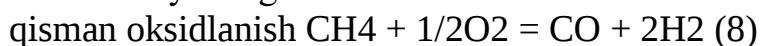


Yoqilg'i sifatida vodorod, sintez-gaz yoki metandan foydalanilganda yoqilg'i elementida sodir bo'ladigan umumiy reaksiyalar mos ravishda 5-7 tenglamalar bilan ifodalanadi.



TOTE issiqlik dvigateli bo'lmaganligi sababli, ularning samaradorligi Karno sikli bilan cheklanmaydi. Biroq, bunday qurilmalar, ayniqsa, past ish haroratlarida ($T \leq 800$ °C) ichki yo'qotishlarga duchor bo'ladi, bu ion o'tkazuvchanligining yetarli emasligi va elektrod jarayonlarining sekinlashgan kinetikasi bilan bog'liq. Shuning uchun tashuvchi elektrolit sifatida ittriy bilan barqarorlashtirilgan sirkoniy dioksidi $Zr_{1-x}Y_xO_2$ (YSZ) (qalinligi 150 mkm atrofida) va anod sifatida Ni-YSZ metallokeramikasini o'z ichiga olgan an'anaviy TOTElar, odatda, elektrolitning yetarlicha elektr o'tkazuvchanligini ta'minlaydigan 1000 °C haroratda ishlaydi - 0,178 Sm/sm. Boshqa tomondan, haroratning 800 °C gacha pasayishi TOTElarni tayyorlash usullarini soddalashtiradi, ularning ekspluatatsiya narxini pasaytiradi va xizmat muddatini uzaytiradi. No v takom sluchaye neobxodimo ispolzovat drugie kislorodoprovodnyye materialy, poskolku ionnaya provodimost YSZ silno umenshayetsya s ponizheniyem temperatury, sostavlyaya 0.052 Sm/sm pri 800 °C. Alternativoy mogut vystupat dostatochno xoroшо izuchennyye soyedineniya na osnove oksida seriya i gallata lantana, a imenno $Ce_{0.85}Sm_{0.15}O_{2-\delta}$, $Ce_{0.9}Gd_{0.1}O_{2-\delta}$ i $La_{0.9}Sr_{0.1}Ga_{0.8}Mg_{0.2}O_{3-\delta}$, provodimost kotoryx pri 800 °C sostavlyayet 0.096, 0.093 i 0.121 Sm/sm sootvetstvenno.

Toza vodorod, sintez gaz (H_2+CO), uglevodorodlar (shu jumladan tabiiy va biogazning asosiy komponenti bo'lgan metan), ammiak va boshqalar TOTE uchun yoqilg'i bo'lib xizmat qilishi mumkin. Uglevodorod yoqilg'isida ishlaydigan TOTElarni tijoratlashtirish so'nggi paytlarda arzonroq va oson saqlanadigan tabiiy gazning ko'pligi tufayli istiqbolli yo'nalish bo'lib ko'rinmoqda. Shu munosabat bilan, metanda ishlay oladigan anod materiallarini ishlab chiqish birinchi o'ringa qo'yilmoqda, ulardan to'g'ridan-to'g'ri foydalanish mumkin (bunda anodda elektrokimyoviy reaksiya 4 sodir bo'ladi) yoki dastlabki riformingni o'tkazib, quyidagi tenglamalar bo'yicha gaz sintezini olish mumkin:



Shunday qilib, TOTEda uglevodorodlardan foydalanishning istiqbolliligini e'tirof etgan holda, uglerodlanmaydigan, oltingugurt bilan zaharlanmaydigan, shuningdek, quyidagi xususiyatlar majmuasini o'zida mujassam etgan anod materiallarini ishlab chiqish vazifasini hal etish zarur:

1. Uzoq xizmat muddati davomida yoqilg'ining oksidlanish reaksiyasiga nisbatan yuqori katalitik faolligi.
2. Yetarli elektron o'tkazuvchanlik.
3. Termik moslik.
4. Kimyoviy barqarorlik.

Bugungi kunga qadar ilmiy adabiyotlarda perovskit anod materiallarining keng doirasi mavjud bo'lib, ular uglevodorod yoqilg'isiga nisbatan yaxshi xususiyatlarni namoyon etadi. Ulardan eng ko'p o'rganilgani titanatlar $ATiO_3$, xromitlar $ACrO_3$, manganitlar $AMnO_3$, ferritlar $AFeO_3$ hamda ishqoriy-yer metallari ($A = Ca, Sr, Ba$) vanadatlari AVO_3 asosidagi oksidlardir. Qo'shaloq perovskitlar orasida umumiy formulasi Sr_2BMoO_6 ($B = Ni, Mg, Fe$) bo'lgan stronsiy molibdatlari ko'proq o'zini ko'rsatdi, chunki bu birikmalar 800 oS haroratda lantan gallati va seriy oksidi asosidagi istiqbolli elektrolit materiallar bilan birgalikda yaxshi ishlaydi. Ko'pgina tadqiqotlar

ushbu birikmalarni uglevodorod yoqilg'isi sharoitida qo'llash imkoniyatlari nuqtayi nazaridan o'rganishga bag'ishlangan.

3-amaliy mashg'ulot: Polimer materiallar xossalarini termodinamik va kinetik jihatdan yoritish. Polimer gellar. (4 soat)

Polimerlanish va polikondensatlanish reaksiyalarining asosiy xarakteristikasi monomerning polimerga aylanish tezligi bo'lib, u polimer unumi, reaksiyaga kirishayotgan aralashmadagi monomer konsentratsiyasi va monomerning polimerga aylanish darajasi bilan ifodalanishi mumkin. Amalda polimerlanish tezligini turli usullar bilan aniqlash mumkin, masalan, gravimetrik, dilatometrik, termometrik, spektrofotometrik, xromatografik, kalorimetrik, dielektrik yo'qotishlarni o'lchash va h.k. Bundan tashqari, monomerning polimerga aylanish darajasini reaksiyaga kirishmay qolgan qo'shbog'lar soniga qarab kimyoviy usullar: brommetrik, merkurimetrik va gidrolitik oksidlash usuli bilan ham nazorat qilish mumkin.

Massadagi bir qator vinil monomerlarining polimerlanishi monomerning polimerga aylanishining ma'lum darajalarida reaksiya tezligining keskin ortishi bilan tavsiflanadi. Bu hodisa "gel-effekt" nomini oldi. Bundan tashqari, kinetik egri chiziqlarning yo'nalishi monomer tabiati, initsiator konsentratsiyasi va jarayonni o'tkazish sharoitlari bilan belgilanadi. Gel-effekt nazariyasi asrimizning 30-yillari oxiri 40-yillari boshlarida ishlab chiqilgan. Chuqur polimerlanishning o'ziga xos xususiyati o'zgaruvchan bo'lgan bir qator kinetik parametrlarning (k_b , V , k_r , $[R]$) o'zgarishi bilan bog'liqligi isbotlandi. Agar statsionar holat usulidan foydalanish sezilarli xatoga olib kelmaydigan holatni ko'rib chiqsak (masalan, metilmetakrilatni (MMA) 20-50% konversiyagacha polimerlash), u holda kinetik parametrlarning o'zgarishini hisobga olgan holda chuqur konversiya darajasigacha polimerlanishni miqdoriy jihatdan tavsiflash mumkin. Bu holda aylanishning dastlabki bosqichlaridayoq initsirlash tezligining o'zgarishi mumkinligiga e'tibor berish kerak.

Ma'lumki, polimerlanish tezligi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$-\frac{d[M]}{d\tau} = \frac{k_p}{k_o^{1/2}} (2fk_{pacn})^{1/2} [I]^{1/2} [M] \quad (1)$$

Agar initsiatorning parchalanishi birinchi tartibli reaksiya bo'lsa, u holda:

$$-\frac{q_I}{q[I]} = k^{bucn} [I] \quad (5)$$

$$[I] = [I_0] \exp(-k_{pacn} \tau) \quad (3)$$

(3) ni (1) ga qo'yib, quyidagini olamiz:

$$-\frac{d[M]}{d\tau} = \frac{k_p}{k_o^{1/2}} (2k_{pacn}f)^{1/2} [I]^{1/2} \cdot \exp\left(-k_{pacn} \cdot \frac{\tau}{2}\right) \cdot [M] \quad (4)$$

(4) tenglamaning ko'p sistemalar uchun polimerlanishda massa va eritmada kichik o'zgarish darajalarida qo'llanilishi shubha tug'dirmaydi. Ammo qovushoq muhitlarda polimerlanishda bu tenglama bajarilmaydi. Polimerlanish jarayonida initsirlash reaksiyasining diffuzion mexanizmi tufayli initsirlash tezligi va f kattaligi o'zgaruvchan bo'lib qoladi. Qovushoq muhitlarda polimerlanishning barcha kinetik parametrlari o'zgarishini tavsiflovchi eksperimental va nazariy ma'lumotlar polimerlanishni chuqur o'zgarish darajasigacha yetarlicha aniqlik bilan tavsiflash

imkonini beradi. Polimerlanish jarayoni sezilarli darajada issiqlik ajralib chiqishi bilan kechadi. Bunda ajralib chiqqan har bir issiqlik porsiyasiga reaksiyaga kirishgan bog'larning u yoki bu soni, ya'ni monomerning polimerga aylanish darajasi aniq mos keladi. Ekzotermik reaksiyalar kinetikasini tadqiq qilishning termografik usuli reaksiyaga kirishuvchi sistemada issiqlik ajralish tezligini reaksiya aralashmasining o'z-o'zidan qizishini (T) qayd qilish yo'li bilan o'lchashga asoslangan bo'lib, bunda jarayonni shunday olib borish kerakki, T kattalik istalgan vaqtda 1-2 S dan oshmasin. Uzoq davom etadigan jarayonlarni tekshirish uchun odatda termografik qurilma qo'llaniladi, unda tekshirilayotgan modda reaksiyon hajm bilan termostatlovchi qobiq o'rtasida issiqlik almashinish sharoiti yomon bo'lgan o'lchash yacheykasiga joylashtiriladi. Reaksiyon hajm va termostatlovchi qobiq orasiga ma'lum bir issiqlik qarshiligini ulash shunga olib keladiki, o'rganilayotgan moddadagi harorat gradiyentlari minimal darajagacha kamayadi, bu esa termodatchikka reaksiyon massaning markazidan uning yuzasiga olib chiqish imkonini beradi. Termodatchikning reaksiyon hajm yuzasida joylashishi nafaqat o'lchash yacheykasining konstruksiyasini sezilarli darajada soddalashtiradi, balki jarayon davomida o'rganilayotgan moddaning issiqlik sig'imining o'zgarishini hisobga olmaslik imkonini beradi. Bu holda tizimning issiqlik balansi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$mc \frac{dT}{d\tau} = Q_n \cdot \frac{d\Gamma}{d\tau} - \alpha \cdot S(T - T_0) \quad (5)$$

bu yerda m - o'rganilayotgan moddaning massasi, c - issiqlik sig'imi, T - polimerizat harorati, T_0 - atrof-muhit harorati, $d\tau$ $d\Gamma$ - jarayon tezligi, Q_n - reaksiyaning issiqlik effekti, α - issiqlik berish koeffitsiyenti, S - atrof-muhit bilan issiqlik almashinuvi sodir bo'ladigan sirt. (5) tenglamani integrallab, istalgan vaqtdagi konversiya darajasini olish mumkin τ :

$$\Gamma = \frac{mc}{Q} (T - T_0) + \frac{\alpha \cdot S}{Q} \int_0^{\tau} (T - T_0) d\tau \quad (6)$$

Chegaraviy konversiya quyidagi tenglamadan olinishi mumkin:

$$\Gamma_{np} = \frac{\alpha \cdot S}{Q} \cdot \int_0^{\tau} (T - T_0) d\tau \quad (7)$$

4- amaliy mashg'ulot: Geterogen va fermentativ katalizning o'ziga xos xususiyatlari. (2 soat)

Katalitik ta'sir asosida substratlar (ularning ta'siri yo'naltirilgan moddalar) bilan oqsil-ligand komplekslarini yuqori tanlovchanlik bilan hosil qilish va substratlarning kimyoviy o'zgarishlarini keltirib chiqarish qobiliyati yotadi.

Kataliz (yunoncha "buzilish") - katalizatorlar ishtirokida kimyoviy reaksiya tezligining o'zgarishi

Kataliz nazariyalari:

1) Geterogen kataliz: reaksiyaga kirishuvchi moddalar va katalizator turli agregat holatlarda bo'ladi va fazalar ajralish yuzasida reaksiyaga kirishuvchi birikmalar konsentratsiyasining ortishi hisobiga kimyoviy reaksiya tezlashadi.

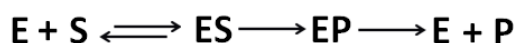
2) Gomogen kataliz: katalizatorning ta'siri shu bilan bog'liqki, u reaksiyaga kirishayotgan moddalar bilan o'zaro ta'sirlashib, oraliq birikmalar hosil qiladi, bu esa aktivlanish energiyasining pasayishiga olib keladi.

Fermentativ kataliz nazariyasi gomogen va geterogen kataliz elementlarini o'z ichiga oladi.

1) Ferment faol markazda substratni adsorbsiyalaydi va u bilan beqaror oraliq birikma (ferment-substrat kompleksi) hosil qiladi.

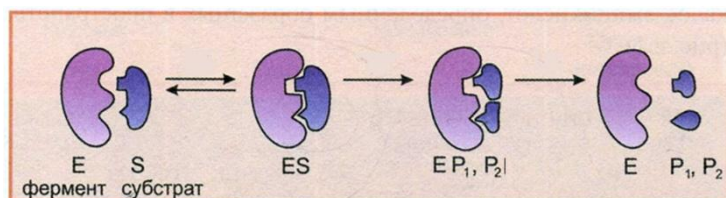
2) faol markazda substratning kimyoviy o'zgarishlari sodir bo'ladi va ferment-substrat kompleksi ferment-mahsulot kompleksiga aylanadi;

3) ferment-mahsulot kompleksi erkin ferment va reaksiya mahsulotiga dissotsilanadi.



Organizmida har bir kimyoviy reaksiya ma'lum bir energiya darajasida, ma'lum bir faollashtirish energiyasida sodir bo'ladi.

- pastroq energiya darajasida reaktiv bo'ladigan faol molekulalar sonini ko'paytirish orqali faollashtirish energiyasini kamaytirish.



- substrat (S) - mahsulotga (R) kimyoviy o'zgarishlarini ferment (Ye) katalizlaydigan modda.

Bosqichlar

I yaqinlashish va oriyentatsiya sodir bo'ladi, shuningdek ferment va substrat o'rtasida indutsirlangan komplementar moslik o'rnatiladi, natijada ferment-substrat kompleksi (ES) hosil bo'ladi.

II substratning kuchlanishi va deformatsiyasi yuzaga keladi, buning natijasida elektron zichlikning siljishi, qutblanish darajasining o'zgarishi sodir bo'ladi, substrat molekulasidagi bog'lanishlar deformatsiyalanadi va osongina parchalanadi.

Ferment-substrat kompleksi hosil bo'lish jarayonida faollanish energiyasi past bo'lgan o'tish holatiga erishiladi, natijada yangi mahsulot hosil bo'ladi va uning dissotsiatsiyasidan so'ng ferment dastlabki holatiga qaytadi.

VI.GLOSSARIY

Termin	O'zbek tilidagi sharui	Ingliz tilidagi sharui
Absolyut harorat	Bu, selsiy shkalasi bo'yicha nuldin 273.16 past bo'lgan vaabsolyut nol deb ataluvchi gradusdan boshlab xisoblanadigan haroratdir.	This is a temperature below 273.160 degrees Celsius, which is calculated from the zero zero, and the absolute zero.
Adsorbsiya	modda zarrachalarining (molekula, atom, ionlarning) ikkinchi modda yuzasiga shimilish jarayoni.	The process of absorbing particles (molecules, atoms, ions) into the surface of the second substance.
Agregat xolat	moddalar odatda gaz, suyuq vakattik xolatda bo'ladi, bo'larni moddalarning agregat xolatideyiladi.	Substances are usually gas, liquid, and solid, which is called aggregate state of matter.
Agregatsiya	yuqori dispers zarrachalarni o'zaro birikib, kyirik zarrachalar xosil kilishiga aytiladi.	highly dispersed particles that are bonded together to form
Additiv xossalar	Biror sistema, modda yoki eritmaning ba'zi xossalriga ularning tarkibiy xossalrining yig'idisidai iborat bo'lishi.	The presence of a particular system, substance, or solution with some of its constituent properties.
Gomogen sistema	bir fazadan iborat sistemalariga aytiladi.	single phase systems.
G'yeterogen sistema	turli fizik va kimyoviy xossalargaega turli fazalardan iborat sistema.	system of different phases with different physical and chemical properties.
Gidratlar	ko'pgina moddalar eriganda ularning molekulalari erituvchi molekulalari bilan birikadi, bu xosil bo'lgan birikmalar solvatlar deyiladi, agarda erituvchi suv bo'lsa gidratlar deyiladi. Ba'zi gidratlar yetarli darajada barkaror bo'lib ular eritmadan tashkarida xosil bo'ladi.	When most substances are dissolved, their molecules are combined with solvent molecules, the compounds that are formed are called solvates, and if solvent water is called hydrates. Some hydrates are stable enough to form outside the solution, which are called crystalloglycites, such as $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

VII. ADABIYOTLAR RO'YXATI

I. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining asarlari

1. Mirziyoyev Sh.M. Buyuk kelajagimizni mard va olijanob xalqimiz bilan birga quramiz. – T.: “O'zbekiston”, 2017. – 488 b.
2. Mirziyoyev Sh.M. Milliy taraqqiyot yo'limizni qat'iyat bilan davom ettirib, yangi bosqichga ko'taramiz. 1-jild. – T.: “O'zbekiston”, 2017. – 592 b.
3. Mirziyoyev Sh.M. Xalqimizning roziligi bizning faoliyatimizga berilgan eng oliy bahodir. 2-jild. T.: “O'zbekiston”, 2018. – 507 b.
4. Mirziyoyev Sh.M. Niyati ulug' xalqning ishi ham ulug', hayoti yorug' va kelajagi farovon bo'ladi. 3-jild. – T.: “O'zbekiston”, 2019. – 400 b.
5. Mirziyoyev Sh.M. Milliy tiklanishdan – milliy yuksalish sari. 4-jild. – T.: “O'zbekiston”, 2020. – 400 b.

II. Normativ-huquqiy hujjatlar

1. O'zbekiston Respublikasining Konstitutsiyasi. – T.: O'zbekiston, 2023.
2. O'zbekiston Respublikasining 2020-yil 23-sentabrda qabul qilingan “Ta'lim to'g'risida”gi Qonuni.
3. O'zbekiston Respublikasining “Korrupsiyaga qarshi kurashish to'g'risida”gi Qonuni.
4. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2015-yil 12-iyundagi “Oliy ta'lim muassasalarining rahbar va pedagog kadrlarini qayta tayyorlash va malakasini oshirish tizimini yanada takomillashtirish to'g'risida”gi PF-4732-sonli Farmoni.
5. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 27-maydagi “O'zbekiston Respublikasida korrupsiyaga qarshi kurashish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida”gi PF-5729-son Farmoni.
6. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 27-avgustdagi “Oliy ta'lim muassasalari rahbar va pedagog kadrlarining uzluksiz malakasini oshirish tizimini joriy etish to'g'risida”gi PF-5789-sonli Farmoni.
7. O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2019-yil 23-sentabrdagi “Oliy ta'lim muassasalari rahbar va pedagog kadrlarining malakasini oshirish tizimini yanada takomillashtirish bo'yicha qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida”gi 797-sonli Qarori.
8. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 8-oktabrdagi “O'zbekiston Respublikasi oliy ta'lim tizimini 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida”gi PF-5847-sonli Farmoni.
9. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 29-oktabr “Ilm-fanni 2030 yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida”gi PF-6097-sonli Farmoni.
10. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021-yil 17-fevraldagi “Sun'iy intellekt texnologiyalarini jadal joriy etish uchun shart-sharoitlar yaratish chora-tadbirlari to'g'risida”gi PQ-4996-son Qarori.
11. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi “2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida”gi PF-60-son Farmoni.
12. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 25-yanvardagi

“Respublika ijro etuvchi hokimiyat organlari faoliyatini samarali yo‘lga qo‘yishga doir birinchi navbatdagi tashkiliy chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi PF-14-sonli Farmoni.

13. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 11-sentabrdagi ““O‘zbekiston - 2030” strategiyasi to‘g‘risida”gi PF-158-son Farmoni.

14. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2024-yil 21-iyundagi “Aholi va davlat xizmatchilarining korrupsiyaga qarshi kurashish sohasidagi bilimlarini uzluksiz oshirish tizimini joriy qilish chora-tadbirlari to‘g‘risida” PQ-228-son Qarori.

III. Maxsus adabiyotlar

1. Oliy ta’limning meyoriy - huquqiy xujjatlari to‘plami. -T., 2013.

2. B.I.Ismailov, I.I.Nasriyev Korrupsiyaga qarshi kurashish bo‘yicha idoraviy chora-tadbirlarning samaradorligini oshirish masalalari//O‘quv-uslubiy qo‘llanma. - T.:O‘zbekiston Respublikasi Bosh prokuraturasi Akademiyasi, O‘zbekiston Respublikasi Sudyalar oliy kengashi. Sudyalar oliy maktabi, 2020.-272 b.

3. Юсуфжанов О., Усманова С. Зарубежный опыт противодействия коррупции. // -Т.: Адвокат, 2016. №5 - 59-62 с.

4. O‘rinov V. O‘zbekiston Respublikasi oliy ta’lim muassasalarida ECTS kredit-modul tizimi: asosiy tushunchalar va qoidalar. O‘quv qo‘llanma. Nyu Bransvik Universiteti, 2020.

5. The European Higher Education Area. - Joint Declaration of the Ministers of Education. - Bologna, 1999, 19 June.

6. Shaping our Own Future in the European Higher Education Area // Convention of European Higher Education Institutions. - Salamanca, 2001, 29-30 march.

7. Виртуальная реальность как новая исследовательская и образовательная среда. Церфуз Д.н. и др. // ЖУРНАЛ [Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России»](#), 2015.–с.185-197.

8. Ibraymov A.YE. Masofaviy o‘qitishning didaktik tizimi. Metodik qo‘llanma. – T.: “Lesson press”, 2020. -112 b.

9. Игнатова Н. Ю. Образование в цифровую эпоху: монография. М-во образования и науки РФ. – Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2017. – 128 с. http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/54216/1/978-5-9544-0083-0_2017.pdf

10. Кирьякова А.В, Ольховая Т.А., Михайлова Н.В., Запорожко В.В. Интернет-технологии на базе LMS Moodle в компетентностно-ориентированном образовании: учебно-методическое пособие / А.В. Кирьякова, Т.А. Ольховая, Н.В. Михайлова, В.В. Запорожко; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2011. – 116 с. http://www.osu.ru/docs/fpkp/kiryakova_internet_technologies.pdf

11. Кононюк А.Е. Облачные вычисления. – Киев, 2018. – 621 с.

12. Oliy ta’lim tizimini raqamli avlodga moslashtirish konsepsiyasi. Yevropa Ittifoqi Erasmus+ dasturining ko‘magida. https://hiedtec.ecs.uniruse.bg/pimages/34/3_UZBEKISTAN-CONCEPT-UZ.pdf

13. Emelyanova O. A. Ta’limda bulutli texnologiyalardan foydalanish // Yosh olim. - 2014. - № 3. - S. 907-909.

14. Moodle LMS tizimida masofaviy kurslar yaratish. O‘quv-uslubiy qo‘llanma. – T.: Toshkent farmatsevtika instituti, 2017.

15. M.Xurramov. Oliy ta'lim muassasalari faoliyatiga sun'iy intellekt texnologiyasini joriy etish [Matn]: metodik qo'llanma / M.Xurramov. K.Xalmuratova. – T.: “Yetakchi nashriyoti”, 2024. – 28 b.
16. Тенденци и развития высшего образования в мире и в России. Аналитический доклад-дайджест. - М., 2021.- 198 с.
17. A.S. Zikriyoyev. Dunyo universitetlari reytingidagi tadqiqotchi olimlar orasida o'zingizni kashf qiling. -T.: Navro'z,2020. ISBN.9789943659285
18. Sherzod Mustafakulov, Aziz Zikriyoev, Dilnoza Allanazarova, Tokhir Khasanov, Sokhibmalik Khomidov. Explore Yourself Among World – Class Researchers. Grand OLEditor, Tashkent 2019, ISBN: 8175 25766-0.
19. Ackoff, Russell L., Scientific Method, New York: John Wiley & Sons, 1962.
20. Barzun, Jacques & Graff. F. (1990). The Modern Researcher, Harcourt, Brace Publication: New York.
21. Muslimov N.A va boshqalar. Innovatsion ta'lim texnologiyalari. O'quv-metodik qo'llanma. – T.: “Sano-standart”, 2015. – 208 b.
22. Muslimov N.A va boshqalar. Pedagogik kompetentlik va kreativ asoslari. O'quv-metodik qo'llanma. – T.: “Sano-standart”, 2015. – 120 b.
23. Печеркина, А. А. Развитие профессиональной компетентности педагога: теория и практика [Текст] : монография / А. А. Печеркина, Э. Э. Сыманюк, Е. Л. Умникова : Урал. гос. пед. ун-т. – Екатеринбург : [б.и.], 2011. – 233 с.
24. О.С. Фролова. Формирование инновационной компетенции педагога в процессе внутришкольного повышения квалификации. Дисс.к.п.н. Воронеж 2018.
25. Компетенции педагога XXI века [Электронный ресурс]: сб. материалов респ. конференции (Минск, 25 нояб. 2021 г.) / М-во образования Респ. Беларусь, ГУО «Акад. последиплом. образования», ОО «Белорус. пед. о-во». – Минск: АПО, 2021.
26. Ishmuhamedov R.J., M.Mirsoliyeva. O'quv jarayonida innovatsion ta'lim texnologiyalari. – T.: «Fan va texnologiya», 2017, 60 b.
27. Ishmuhamedov R, Mirsoliyeva M, Akramov A. Rahbarning innovatsion faoliyati. – T.: “Fan va texnologiyalar”, 2019.- 68 b.
28. Коджаспирова Г.М. Педагогика в схемах, таблицах и опорных конспектах./ -М.:Айрис-пресс, 2016.
29. Натанзон Э.Ш. Приемы педагогического воздействия.-М, 2012-202 с.
30. Сергеев И.С. Основы педагогической деятельности: Учебное пособие. – СПб.: Питер, 2014.
31. Tojimumammedov H. S. Nitrozofenollarning sintezi va xossalari. Monografiya. T.: “Mumtoz so'z”, 2020 y.
32. Turabov N.T., Smanova Z.A., Kutlimuratova N.X. Analitik kimyo. // T.: 2019 y. 247 b.
33. Usmonov B.Sh., Habibullayev R.A. Oliy o'quv yurtlarida o'quv jarayonini kredit-modul tizimida tashkil qilish. O'quv qo'llanma. T.: “Tafakkur” nashriyoti, 2020. 120 b.
34. Ibraymov A.YE. Masofaviy o'qitishning didaktik tizimi. Metodik qo'llanma/tuzuvchi. A.YE. Ibraymov. – T.: “Lesson press”, 2020. 112 b.
35. Ishmuhamedov R.J., M.Mirsoliyeva. O'quv jarayonida innovatsion ta'lim texnologiyalari. – T.: «Fan va texnologiya», 2014. 60 b.

36. Игнатова Н. Й. Образование в цифровую эпоху: монография. М-во образования и науки РФ. – Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2017. – 128 с.
http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/54216/1/978-5-9544-0083-0_2017.pdf
37. Золотов Й.А. Аналитическая химия. Учебник для вузов. Кн. 1,2. -М.: Высшая школа. 2018. 615 с.
38. Shoxidoyatov H.M., Xo‘janiyozov H. O‘., Tojimuxammedov H.S. \ “Organik kimyo”. Universitetlar uchun darslik. T.: “Fan va texnologiya” 2014.
39. Advances in Physical Organic Chemistry. Explore book series content. Latest volumes: Volume 53, pp. 2–104 (2019); Volume 52, pp. 2–143 (2018); Volume 51, pp. 2–219 (2017)
40. Steve Taylor “Destination” Vocabulary and grammar”, Macmillan 2010.
41. David Spencer “Gateway”, Students book, Macmillan 2012.
42. Ckoog D.M. West. Fundamentals of Analytical Chemistry Brouks/Cole/ Cengage learning USA, 2014.
43. Mitchell H.Q., Marileni Malkogianni “PIONEER”, B1, B2, MM Publications. 2015. 191.
44. Mitchell H.Q. “Traveller” B1, B2, MM Publications. 2015. 183.
45. Lindsay Clandfield and Kate Pickering “Global”, B2, Macmillan. 2013. 175.
46. English for Specific Purposes. All Oxford editions. 2010, 204.
47. Wolfgang Scharfe. Basic Physical chemistry. Germany, 2014.
48. Christian G.D., Analytical chemistry University of Washington, USA, 2009.

IV. Elektron ta’lim resurslari

1. www.edu.uz.
2. www.aci.uz.
3. www.ictcouncil.gov.uz.
4. www.lib.bimm.uz
5. [www. Ziyonet. Uz](http://www.Ziyonet.Uz)
6. www.sciencedirect.com
7. www.acs.org
8. www.nature.com
9. <http://www.kornienko-ev.ru/BCYD/index.html>.